

Petter Kohonen

Tulvariskikartoitus ja tulvienhallinta

Tutkimuskohde: Prikiranta

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma
Insinöörityö
Päivämäärä

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Petter Kohonen Tulvariskikartoitus ja tulvien hallinta 48 sivua + 5 liitettä 3.5.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Infrarakentamisen lehtori, Kai Kouvo DI, Päivi Paavilainen (Ramboll)
<p>Insinööriytyössä selvitettiin tulvariskien kartoitusta ja tulvien hallintatapoja. Tutkimuksen kohteena oli Kirkkonummen kunnassa sijaitseva Prikiranta. Työssä tutkittiin riskialttiit kohdat hulevesitulvalle sekä merivesitulvalle.</p> <p>Tutkimuksen teoreettinen tausta tehtiin suurilta osin kirjallisuustutkimuksena, jossa selvitettiin kaupungistuminen ja ilmastomuutos ja niiden vaikutukset tulviin. Tutkimuskohteessa selvitettiin olemassa olevien avo-ojien ja tienalitusrumpujen koko ja kunto. Mitattujen tietojen, Kirkkonummen kunnalta saadun lähtöaineiston ja Suomen ympäristökeskuksen tutkimusten perusteella tutkittiin, miten hulevedet kertyvät intensiivisyydeltään erilaisten sateiden aikana, joiden avulla valittiin määräävä sade. Tutkittiin myös mitkä alueet ovat riskialttiita merivesitulvalle, kun meriveden pinta nousee mitoitusulvatasoon +1,45 m tai +2,6 m.</p> <p>Laki tulvariskien hallinnasta (24.6.2010/620) säättää tulvariskien selvittämisestä ja on osoitus siitä, että tulvakartoituksen ja huleveden hallinta on ilmastomuutoksen ja kaupungistumisen takia hyvin ajankohtainen. Tulvakartoituksessa on kyse varautumisesta tulvatilanteisiin ennakolta, jotta tulvavahinkojen määrä voitaisiin minimoida.</p> <p>Tulokseksi saatiin kaksi erillistä karttaa, jotka havainnollistavat, miten hulevesitulva ja merivesitulva leviävät tutkimusalueella, sekä raportti tulvien aiheuttamista riskeistä. Kartoista voidaan todeta, että huleveden kertyminen tienalitusrumpujen yläjuoksun puolelle muodostaa lammikoita, mutta niiden leviäminen kaavoitetun viheralueen ulkopuolelle on vähäistä ja hallittavissa. Karttojen avulla voidaan myös todeta, että merivesitulva peittää pahimmillaan koko Hemvikenin alavan peltoalueen. Tässä tilanteessa vesi voi pahimmillaan nousta Hemvikintie 4:n omakotitaloon. Upinniementien matalin kohta Hemvikenin pohjukassa voi tutkitussa ääritilanteessa jäädä kerran 200 vuodessa toistuvalla tulvalla veden alle. Myös Sokerimestarintien matalin kohta peittyisi.</p>	
Avainsanat	Tulvakartoitus, hulevesi, merivesi, valuma, tulva

Author(s) Title Number of Pages Date	Petter Kohonen Floodriskmapping and Flood Management Case Prikiranta 48 pages + 5 appendices 3 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Infrastructural Engineering
Instructor(s)	Kai Kouvo, Senior Lecturer Päivi Paavilainen, M.Sc. (Ramboll Finland Oy)
<p>In this engineer thesis, the background to flood risk mapping and storm water control was studied. The case in this study was the area of Prikiranta in the municipality of Kirkkonummi. In the area of study, the areas that are exposed to flooding, caused by storm water and seawater flooding were studied.</p> <p>The theoretic background in the thesis about urbanisation, climate change and its impact on flooding was largely a literature research. In the area of study, the research was done by measuring the condition and size of the ditches and road culverts. Based on the measured information, the given starting material by the municipality of Kirkkonummi, and the results of the research made by the Finnish Environmental Centre, the storm water runoff caused by rains with different intensity was studied. From which the determining rain was chosen. The areas were also studied which areas are at risk to sea water flooding, when the water rises to the measuring level + 1,45m or +2,6m.</p> <p>The Act of Flood risk management (24.6.2010/620) regulates the assessment of flood risks and is an example of flood risk mapping and storm water management being very current. Flood risk mapping is all about preparing for flood, so the damages caused by flooding would be minimal.</p> <p>As a result two different maps were made, that visualize how storm water floods and sea water floods expand on the area of study. A report of the risk caused by flood was also made. From the maps it can be concluded that the runoff of the storm water creates ponds on the upstream side of the culverts, but the expansion of the ponds outside the green-area zone is small and easily controlled. According to the maps it can also be concluded that the seawater flood covers the low-lying fields of Kantvik. In this worst case seawater flooding study, water would enter the detached house of Hemvikintie 4. The lowest lying part of Upinniementie-road in the Gulf of Hemvik would be under flood water, during once in 200 years repeated flood. Also the Sokerimestarintie -road would be covered by water.</p>	
Keywords	Floodriskmapping, storm water, sea water, , runoff, flood

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Ilmastomuutoksen vaikutukset	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Muutokset Suomessa	3
2.3	Infrastruktuurin sopeuttaminen	5
3	Tulvatyytit	7
3.1	Vesistötulva	7
3.2	Merivesitulva	7
3.3	Hulevesitulva	7
3.4	Suurtulvat	7
4	Tulvan synty	8
4.1	Sateen synty ja sadetyypit	8
4.2	Valunta	9
4.2.1	Valunnan synty	9
4.2.2	Valunnan luonne Suomessa	11
4.2.3	Sadannan ominaisuuksien vaikutus valuntaan	12
4.2.4	Aluetekijät, viipymä	13
4.3	Hulevesivirtaamat rakennetussa ympäristössä	15
4.3.1	Mitoitussateen määrittäminen valuma-alueelle	15
4.3.2	Lumen sulamisen määrittäminen	16
4.3.3	Valuma-alueen ominaisuuksien määrittäminen	17
5	Tulvakartoituksen taustaa	19
5.1	Vesipuitedirektiivi (VPD)	19
5.2	Tulvadirektiivi	19
5.3	Laki tulvariskien hallinnasta	20
5.4	Tulvavaarakartat Suomessa	22
6	Tulvien ehkäisy- ja hallintamenetelmät	24

6.1	Vesistötulvat	24
6.2	Hulevesi- ja vesistötulvien ehkäisymenetelmät	25
6.2.1	Yleistä	25
6.2.2	Kiinteät tulvapenkereet	26
6.2.3	Tilapäiset tulvapenkereet	27
6.3	Hulevestulvan hallintamenetelmät	29
6.3.1	Tulvareitit	29
6.3.2	Huleveden viivytyksen menetelmät	29
7	Tulvareitin kapasiteetin määrittely	31
7.1	Avo-uoma	31
7.1.1	Virtauksen mitoittaminen avo-uomalle	31
7.2	Rummun mitoitus	32
7.2.1	Rumpuaukon mitoitus	32
7.2.2	Rumpuputken mitoitus	33
7.3	Rummun padotus	33
8	Pikikirannan tulvakartoitus	35
8.1	Hankkeen taustaa	35
8.2	Käytetty koordinaatisto- ja korkeusjärjestelmä	36
8.3	Suunnittelualueen kuvaus	36
8.3.1	Suunnittelualueen hydrologia	37
8.3.2	Nykytilan maankäyttö ja luonnonympäristö	37
8.3.3	Tulevaisuus ja maankäytön muutokset	38
8.4	Mitoitusperusteet	39
8.4.1	Mitoitussade	39
8.4.2	Virtaamalaskenta	39
8.5	Nykytilan ja tulevat tulvariskit	40
8.5.1	Hulevesien muodostuminen osa-alueittain	40
8.5.2	Hulevesitulvan riskit	41
8.5.3	Merivesitulvan mitoitusperusteet	42
8.5.4	Merivesitulvan riskit	42
9	Yhteenveto ja johtopäätökset	44
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Merivesitulva leviäminen Y1	

Liite 2. Hulevesitulvan leviäminen Y2

Liite 3. Valuman laskut

Liite 4. Alustava tulva-alueen raja

KÄSITTEET

Hulevesi	Hulevesiksi kutsutaan sadevettä ja lumien sulamisvettä.
Sadanta	Sadanta on maahan tiettyssä ajassa tietylle alueelle sataneen veden määrä, joka ilmoitetaan, kuinka monta mm:ä vuorokaudessa on satanut.
Sateen intensiteetti	Sateen intensiteetti tarkoittaa aikayksikössä yksikköpinta-alalle tulevaa vesimäärää, yksikkönä on yleisemmin mm/h.
Valunta	"Valunta on se osa sadannasta, joka virtaa vesistöä kohti maan pinnalla, maaperässä tai kallioperässä [8].
Valuma-alue	Valuma-alue on koko se maa-alue, jolta hulevedet luonnostaan kulkeutuvat kerääntymis- tai purkupaikkaan.
Viivytyrakenteet	Veden kulkua hidastavat rakenteet.
Kapillaarinen nousu	Vapaa vesi, joka nousee maahiukkasten välisissä huokoskanavissa esiintyvien kapillaarivoimien vaikutuksesta.
Aaltoiluvara	Meren vedenpinnan korkeuden lisä, joka otetaan huomioon alinta rakentamiskorkeutta määritettäessä.
Alin suositeltava rakentamiskorkeus	Alin hyväksytty rakentamiskorkeus, jolle vesi voi nousta ilman, että se vahingoittaa rakenteita.
Tulvariski	Tulvariskillä tarkoitetaan tulvan esiintymisen todennäköisyyden ja tulvasta ihmisten terveydelle, turvallisuudelle, ympäristölle, infrastruktuurille, taloudelliselle toiminnalle ja kulttuuriperinnölle mahdollisesti aiheutuvien vahingollisten seurausten yhdistelmää.

1 Johdanto

Suomen asukkaista noin 80% asuu kaupungeissa. Kun taloudellinen ja sosiaalinen elämä yhä enemmän keskittyy kaupunkeihin, on odotettavissa, että kaupungistuminen jatkuu. Kun taajamat kaupungistumisen myötä kasvavat, kasvavat sen myötä myös läpäisemättömät päällysteet ja pintavalunta rajusti. Tiivistä rakennettujen taajamien sadevesiviemäroinnin kapasiteettia on hankalaa tehostaa niin taloudellisesti kuin teknisesti, joten tulvavahinkojen riski on oleellinen.

Ilmastomuutoksen takia taajamien ongelmana ovat myös kasvavat sademäärät ja lisääntyvät rankkasateet. On odotettavissa, että sateet lisääntyvät talvisin kesää enemmän, mutta talvella ei ole odotettavissa yhtä runsaita rankkasateita kuin kesällä. Runsaimpien sateiden on ennustettu voimistuvan kesäisin, mikä osaltaan lisää kaupunkitulvien esiintymisriskiä [1, s. 81.]

Kun rankkasateet ovat viime vuosina yhä useammin aiheuttaneet taajamissa tulvavahinkoja, on huomattu, että Suomessa esiintyvien rankkasateiden suuruus ja toistuvuus on aliarvioitu, eikä nykyisten sade- ja kuivatusjärjestelmien kapasiteetti enää riitä [1, s. 7].

Ilmaston muutoksen vaikutus merenpinnan korkeusasemaan tulee olemaan myös huomioon otettava tulvariski määrittäessä rannikkorakentamisen asumiskorkeutta.

Tämän työn tarkoitus on kartoittaa mahdollisia tulvariskille alttiita alueita, sekä riskien ehkäisyä uudella asuinalueella Kirkkonummen Prikinrannassa. Työssä tarkastellaan hulevesi- ja merivesitulvan leviämisestä aiheutuvat riskialueet. Tässä työssä on myös otettu huomioon rakentamisen vaikutukset valunnan kasvuun.

Työ tehdään Ramboll Finland Oy:lle kautta SERUM-arkkitehtitoimiston käyttöön.

Työ tehdään pääosin kirjallisuusselvityksenä. Työn puitteissa on tutustettu Kirkkonummen tulvasäädöksiin.



Kuvio 1. [26] Kaupunkitulva 13.6.2008 Cedar Rapids, Iowa, Yhdysvalloissa.

2 Ilmastomuutoksen vaikutukset

2.1 Yleistä

On arvioitu, että kasvihuonepäästöjen takia ilmastomme lämpenee. Lämpimämpi ilma-kehä voi sisältää enemmän vesihöyryä kuin kylmempi. Ilman vesihöyryn nouseva määrä käy taas käsi kädessä lisääntyvien voimakkaiden sateiden kanssa [1, s. 79].

Tarkat ennusteet tulevaisuuden ilmastosta ovat epävarmoja, eikä voi varmuudella sanoa, miten se muuttaa hulevesijärjestelmien kuormitusta. On kuitenkin selvää, että ilmastomuutos tulee aiheuttamaan järjestelmiin vahinkoriskin muutoksen. Jos suunnittelussa arvioidaan, että kasvava sadannan määrä ei ole vaikuttava tekijä, niin ainakin sateiden intensiteetin kasvu on huomioon otettava tekijä.

Suuri osa meidän jalkojemme alla olevasta infrastruktuurista on jo rakennettu, joten tulevaisuuden sadevesiongelmat voivat suureesti johtua viemäriverkkojen kapasiteettien riittämättömyydestä. Pelkästään ilmastomuutoksen takia hulevesijärjestelmän uusiminen järeämmäksi on kustannuksiltaan järjetöntä, ellei uusimista samanaikaisesti

hyödytetä muuten. Esimerkiksi putkiverkon elinkaaren loppupuolella olevan putkiverkon osan vaihtamista uuteen, joka on suunniteltu suuremman vedenmäärän kuljettamiseen. Kustannusteholtaan hyvänä vaihtoehtona pidetään uusien hulevesihallintamenetelmien käyttämistä vanhan järjestelmän rinnalla. Uusia huleveden hallintamenetelmiä ovat muun muassa: pidätysaltaat, rakennetut kosteikot tai imeytysrakenteet. [1, s. 93.]

Täyteen varmuuteen on kuitenkin hyvin haastavaa yltää, kun ilmastomuutoksessa on niin monta epävarmuustekijää. Tämän takia tulisikin nykyisissä taajamissa kartoittaa niiden tulvariskejä paikallisesti, ja tarvittaessa suunnitella hulevesien johtaminen uudelleen.

Kun sadannan määrä kasvaa, se aiheuttaa järvissä vedenpinnan nousua, mikä samanaikaisesti myös nostaa pohjaveden pintaa. Maaperän vesipitoisuuden kasvaessa maan huokosvedenpaine nousee. Tämä aiheuttaa sen, että maan lujuus alenee. Näin ollen kuormituksen alla olevien rakenteiden lujuuslaskelmat tulisi tarkistaa. Tämän takia tulee suunnittelussa ottaa huomioon, ettei veden kapilaarinen nousu nouse tulvarajalle. Toisaalta, kun suunnitellaan paljolti päällystettyyn rakennettuun ympäristöön, tilanne voi olla päinvastainen. Rakennetussa ympäristössä pohjaveden pinta on yleensä alemmalla, missä suurimpana ongelmana on välitön pinta-valunta, joka kuormittaa rajusti hulevesijärjestelmää. Näissä suunnittelukohteissa tulee ottaa lähtökohdiksi luoda mahdollisimman luonnonmukaisen hydrologisen kiertokulun vedelle. [1, s.93; 18.]

2.2 Muutokset Suomessa

Suomen ympäristökeskuksen tutkimusten mukaan oletetaan, että Suomessa sadannan määrä kasvaa 10-15 % jaksoon 2071-2100 mennessä. Kevätsateiden on arvioitu pysyvän samana, mutta malliarvioiden mukaan kesäsaateiden keskimääräiset vuorokausisadannat kasvavat 10-30 % ja kuuden tunnin rankkasateet karkeasti arvioiden 15-40 %. Muutos ajan mukana on keskimäärin melko lineaarinen, vaikka saateiden määrä saattaisi aluksi vähentyä. [1, s. 105.]

Taulukko 1. Sateen intensiteetit [$l/s \cdot ha$] keskimäärin noin 1 km^2 :n aluesadannalle ottaen huomioon ilmastomuutoksen ennakoitu vaikutus [17, s. 93].

Keskimääräinen intensiteetti [l/s*ha], ilmastonmuutoksen vaikutus huomioiden								
	Sateen kesto							
Toistuvuus	5 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1/1 a	140	93	60	40	21	13	8,3	5,0
1/2 a	200	120	73	50	26	16	10,0	6,0
1/3 a	220	133	87	57	28	17	10,6	6,3
1/5 a	260	147	100	63	30	19	11,7	6,9
1/10 a	280	187	120	77	36	22	13,1	8,3

Ilmastomuutoksen vaikutusta on tutkittu erilaisilla rankkasadetapahtumilla. Tutkimuksen kohteena on käytetty maailmanmestaruuskisojen vuonna 2005 aikana tullutta rankkasadetta Helsingissä, sekä Porissa vuonna 2007 tullutta rankkasadetta. Näiden lisäksi luotiin tutkimuksessa 20 minuutin pituisia Chicago Design Storm -mitoitussateita (CDS-sade), joiden toistuvuus vaihteli välillä 2-50 vuotta. Tanskalaisen Spildevandskomiteenin ohjeiden mukaisesti muokattiin sateiden esitystapaa Suomen vuosisadantaa käyttäen. Ne skaalattiin vielä vastaamaan nykyisiä mitoitussateita. Kaikkien sadetapahtumien oletettiin kasvavan 20 % ja niiden intensiteetin aikaisemmin mainitulla tavalla. [1, s. 94.]

Tutkimuksessa huomattiin, että ilmastomuutoksen vaikutus suuriin sadantoihin valunnan kasvuun oli lähempänä 20 % ja pieniin sadantoihin +30 % [1, s. 98].

Taulukko 2. Ilmastomuutoksen vaikutukset sadantaan, intensiteettiin ja valuntaan eri sadetapahtumilla. [1, s. 98]

	Sadanta	Suurin intensiteetti	Valunta	Valunnan kasvu
	mm	mm/min	m ³	%
Pori 2007	140	27.7	8 130	
	168	43.1	9 856	21
MM 2005	24.8	8.2	1 136	
	29.8	11.3	1 444	27
20 min CDS, 3 v	10.7	1.7	1 306	
	12.8	2.1	1 561	27
20 min CDS, 2 v	8.7	1.9	1 060	
	10.4	2.3	1 268	28

2.3 Infrastruktuurin sopeuttaminen

Perinteinen tapa hoitaa hulevedet on ollut niiden hallittu kerääminen ja purkaminen lähimpään vesistöön mahdollisimman nopeasti. Näin useimmat hulevesijärjestelmät toimivat Suomessa. Mutta jatkuva kaupungistuminen ja ihmisten tietoisuus saasteista ja niiden riskeistä on muokannut ajatusmaailmaa, ja miten hulevesijärjestelmiä suunnitellaan, hallitaan, ylläpidetään ja kunnostetaan.

Seuraavia odotuksia asetetaan tämän päivän ja tulvaisuuden hulevesijärjestelmille:

- Hulevedet tulee viivyttää valuma-alueella taajamatulvien ehkäisemiseksi.
- Pilaantumisen ehkäisystä tulee huolehtia niin taajamissa kuin vastaanottavissa vesistöissäkin.
- Hulevesijärjestelmät tulee suunnitella osana laajempaa integroitua taajamavesien hallintasuunnitelmaa.
- Hulevesijärjestelmät tulee varustaa tehokkaalla reaaliaikaisella tarkkailujärjestelmällä.
- Laajoissa hulevesijärjestelmissä tulee olla valvontalaitteisto, jotta niiden toimintakyky voidaan arvioida ja tämän perusteella parantaa sitä tulevaisuudessa [1, s. 99.]

Vaihtoehtoisten hulevesien hallintamenetelmät ovat muun muassa osoittautuneet yhdeksi avaimeksi toimivaan hulevesijärjestelmään. Näissä pyritään aloittamaan valumavesien hallita jo niiden syntylähteiltä. Esimerkkinä tästä on kiinteistökohtainen hulevesien imeyttämissuunnitelma, jossa vedet johdatetaan katoilta rakennettuun imeytysjärjestelmään. Imeytysjärjestelmän idean ydin on jäljitellä luonnollista hydrologista kiertokulkua, hidastamalla veden kulkua (esim. painanne), jotta se ehtisi imeytyä maaperään täyttäen pohjavesivarastoa. Toimiakseen maaperässä tulee olla tarkoituksen mukaista täyttöä, kuten mm. soraa. Jos maaperä on savikkoa, voi imeyttämisen tarvittaessa tehdä keinotekoisesti, suodattamalla kuivatusputkistoilla varustetuissa läpäisevästä materiaalista tehdyissä painanteissa. [1, s. 100;17, s. 40-41.]

Uusia asuinalueita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon paikalliset ja hydrologiset ominaispiirteet ja miten suunniteltu alue vaikuttaa muihin ympäröiviin alueisiin. Joten,

jos halutaan saada realistinen kuva siitä, miten suunniteltu alue vaikuttaa, tarvitaan paikallista havaintoaineistoa.

Kestävän ja toimivan hulevesijärjestelmän tulee muuttua yhdyskunnan mukaisesti, ja sen kehittäminen on enemmänkin prosessi kuin kertaratkaisu. Käytännössä se tarkoittaa, että rakennetaan riittäviä hulevesijärjestelmiä uusille asuinalueille ja seurataan tarkasti vanhojen järjestelmien kuntoa ja kapasiteettia. On myös syytä harkita huleveden syntylähteisiin vaikuttavia hallintamenetelmiä vanhan viemärintijärjestelmän rinnalle siellä, missä se on mahdollista.

Rakennettujen järjestelmien huolto ja kunnossapitotarve tulee kasvamaan sitä mukaan kun sademäärät kasvavat. Jo pienikin muutos sademäärässä vaatii tiheämpää huoltoväliä.

Koska ilmastomuutosta selvästi muuttuvampi tekijä on kuitenkin kaupunkien infrastruktuuri, on todettu, että helpoiten mitattava suure kaupunkien hulevesienhallinnan valmiudesta on infrastruktuurin huleveden varastotilavuus. Olivatpa rakennelmat minkälaiset tahansa, on määräävin tekijä jolla ne pystyvät estämään tulvimisen se, paljonko vettä rakennelmat pystyvät hallitusti pitämään sisällään. [1, s. 100.]

Nykyisten huleveden johtamisverkostojen tiedetään olevan riittämättömiä äärimäisten sadetapatapahtumien sattuessa. Tästä syystä punainen lanka hulevesijärjestelmien sopeuttamisissa on johtaa hulevedet hallitusti sinne, missä ne aiheuttavat vähiten vahinkoa. [1, s. 8.]

3 Tulvatyypit

Yksinkertaisuudessaan tulvatyypit voidaan jakaa vesistötulviin, merivesitulviin sekä hulevesitulviin.

3.1 Vesistötulva

Vesistötulva on pitkään jatkuneiden sateiden tai lumen sulamisen tulos. Tyypillinen esimerkki on järvillä ja joilla lumen sulamisesta aiheutuvat kevättulvat. Mutta rankat sateet voivat aiheuttaa vesistötulvia muinakin vuodenaikoina. Hyyde- ja jääpadot voivat paikallisesti aiheuttaa voimakkaan vedenpinnan nousun, mistä seuraa tulva-alue. Omana vesistötulvatyyppinä voidaan pitää suurten järvien tulvimista, joka on tulos monista peräkkäisistä runsassateisista vuosista.

3.2 Merivesitulva

Myrskyjen aiheuttamat meritulvat rannikkoalueilla, koostuvat monista tekijöistä, jotka nostavat meren vedenkorkeutta. Suurimman tekijän, tuulen, lisäksi tulvan korkeuteen vaikuttavat ilmanpaine, virtaus Tanskan salmen läpi ja talvella merijään kattavuus.

3.3 Hulevesitulva

Hulevesitulva esiintyy yleensä rakennetulla alueella. Se koostuu maan pinnalle kerääntyvästä sade- tai sulamisvedestä. Hulevesitulvia nimitetään myös taajama- ja rankkasadetulviksi. Rankkasateiden aiheuttamien tulvien tyypilliset piirteet ovat: nopea alkaminen, lyhytkestoisuus ja että ne esiintyvät yleensä vain paikallisesti, keskittyen taajamiin. Tiivistä rakennetussa ympäristössä jo lyhyt intensiivinen sade voi aiheuttaa tulvimista puroissa ja sadeviemäröintikapasiteetin ylittämistä.

3.4 Suurtulvat

Suurtulva on nimensä mukaisesti tavanomaista suurempi tulva. Tulva joutuu tähän kategoriaan kun se ylittää tarkastelun alueen tulvasuojelussa käytetyn mitoitus- tai riskitason. [9.]

Euroopassa on viimeisten kymmenen vuoden aikana selvästi useammin esiintynyt tulvia, jotka ovat aiheuttaneet suurta vahinkoa. Meidän onneksemme Suomessa on välttytty suurtulvista, mutta yleisesti on arvioitu, että semmoinen voisi esiintyä meilläkin.

Viimeisin Suomessa esiintynyt suurtulva oli vuonna 1899. Tuolloin muun muassa Vuoksen, Kymijoen ja Kokemäenjoen alueilla esiintyneen tulvan toistumisajaksi on arvioitu vähintään 250 vuotta. Vuonna 2000 valmistuneessa suurtulvaselvityksessä alueelliset ympäristökeskukset arvioivat, missä suurimmat vahingot sattuisivat suurtulva osuessa. Arvioitiin, että suurimmat vahingot sattuisivat Imatra-Lappeenrannan alueella Saimaan rannalla sekä Porin kaupunki Kokemäenjoen varrella. [10, s. 46.]

4 Tulvan synty

4.1 Sateen synty ja sadetyypit

Aiheuttaakseen taajamatulvan sateen on oltava riittävän voimakas riittävän kauan samalla alueella. Vaikuttava tekijä sateen kestoon ja intensiteettiin on sen synty tapa. Sade syntyy kun vesihöyrypitoinen ilma jäähtyy, mikä lähes aina johtuu sen nousevasta liikkeestä. Kun vesihöyry nousee korkeammalle, se jäähtyy, tiivistyy ja muodostaa pilvipisaroita tai jääkiteitä. Suotuisissa olosuhteissa tästä muodostuu sadetta. Pystyliike säätelee sateen jakaumaa, kestoa ja intensiteettiä. [3, s. 29.]

Syntytapansa perusteella sade voidaan jakaa kolmeen perustyyppiin.

1. Laaja-alainen rintamasade
2. Konvektiivinen kuurosade
3. Orografinen sade

Laaja-alainen rintamasade syntyy, kun säärintama pakottaa ilman liikkeeseen pitkin kaltevaa rintamapintaa. Lämpimässä rintamassa nousuliike on kohtuullisen hidasta, laaja-alaista ja antaa tasaisen sateen. Kylmä rintama antaa verrattuna lämpimään rintamaan rankemman, mutta pinta-alaltaan suppeamman ja lyhytkestoisemman sateen.

Konvektiivinen kuurosade syntyy, kun maan lähellä oleva ilma lämpenee, nousee ylös, jäähtyy ja muodostaa sadepilven. Nousuvirtaus on yleensä nopea ja kuurosade rankka. Muita tyypillisiä piirteitä konvektiivisellä kuurosateella on, että ovat ne lyhytkestoisia ja alueiltaan suppeita. Usein kuitenkin konvektiivinen kuurosade johtuu monesta pilviryhmästä, sen takia sateen intensiteetti vaihtelee sateen aikana.

Orografinen sade syntyy, kun ilmassa johtuu maastoesteiden takia pakotettuun nousuun. Suomessa on hyvin vähän korkeuseroja, joten orografisia sateita ei juuri esiinny meillä, vaikka jo pieni maastonmuutos vaikuttaa sateen alueelliseen jakaumaan. [1, s. 18.]

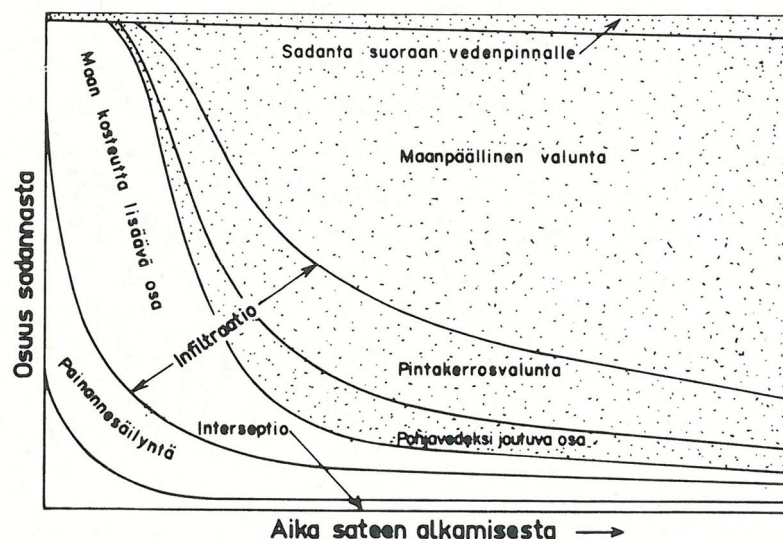
4.2 Valunta

4.2.1 Valunnan synty

Valunta syntyy alueelle sataneesta vedestä, pohjavesivarastosta, alueella olevan lumen ja jään sulamisesta tai niiden yhdistelmästä. On hyvin monimutkainen prosessi tehdä yksityiskohtainen selvittely valunnan synnystä, paikallisuudesta ja vaikutusajanvälistä. Käytetään yksinkertaistettuja kaavoja joilla voidaan määritellä tarpeeksi hyvin valunnan syntymäärä kohteen kartoittamiseksi. [3, s. 152]

Yksinkertaisuudessaan voidaan ajatella valunnan muodostuvan kolmesta osasta:

1. Maanpäällinen valunta, eli pintavalunta.
2. Pintakerrosvalunta
3. Pohjakerrosvalunta



Kuvio 2. Rankkuudeltaan tasaisen sadannan jakautuminen valuntaan ja muihin komponentteihin ajan funktiona [3, s. 153].

Kun sattuu tasaisen voimakas sade, niin maapinnalla virtaava vesi etsiytyy uomiin jo muutamissa minuuteissa. Sateen suurin vaikutus pintakerrosvaluntaan tapahtuu ehkä muutaman tunnin kuluttua. Sateen vaikutus pohjavesivarastoihin ja sieltä kulku vesistöihin voi kestää viikkoja, kuukausia tai jopa vuosia. Miten suuri osa sateesta päätyy eri valuntamuotoihin, on pitkälti riippuva sadannan ja sulannan ominaisuuksista sekä alueen topografiasta ja maaperästä.

Maanpäällisen valunnan määrä johtuu suuresti siitä, miten hyvin tai huonosti maanpinta läpäisee vettä. Huono imeyntäkyky voi johtua maalajin hienorakeisuudesta (esim. tiivis savi), roudasta, maanpinnan tiiveydestä sekä ihmisen rakentamisesta. Myös jo veden kyllästyvä maa pitkään jatkuneesta sateesta on huonosti imeytyvä.

Pintakerrosvalunta kasvaa suureksi, jos maanpinta on hyvin läpäisevää ja sen alla on tiivis läpäisemätön kerros. Hyvä esimerkki on peltomaa, jonka ruokamullan alla on tiivis kerrostuma. Toinen esimerkki on moreenimaa, jossa on löyhä pinta ja alla hyvin tiivis pohjamoreeni.

Pohjavesivalunta on suurta karkearakenteisilla mailla, missä sekä pinta että muut kerrostumat johtavat hyvin vettä.

Valunta muokkautuu harvoin lineaarisesti yhdestä valuntamuodosta toiseen ja sitten kolmanteen muotoon. Usein valunta alkaa pintavaluntana, joka sitten imeytyessä jatkuu pintakerrosvaluntana, mutta palaa takaisin pintavalunnaksi ennen vesistöön päätymistä. Suurin osa Suomen pinta-alasta on metsän peitossa ja maaperä on suurin osin moreenia. Tiheän kasvuston keskellä ja läpäisevällä maaperällä, maanpäällinen valunta on harvinainen [3, s. 154-155.]

4.2.2 Valunnan luonne Suomessa

Suomessa vuosisivalunnan voi jakaa neljään eri jaksoon.

1. Kevätvalunta koostuu lumen sulamisesta sekä kevätkauden sateista. Etelä-Suomessa valunta on keskimäärin 100..120 mm, Pohjois-Suomessa 140...180 mm. Kevätvalunta on siis Etelä-suomessa 40-50 % ja Pohjois-Suomessa 50-60 % vuosisivalunnasta. Lumen vesiarvo on keskimaksimista kevätvalunnassa noin 80 %. [3, s. 154.]
2. Kesävalunnan ajanjakso on lumen sulamisesta elokuun loppuun saakka. Suuressa osin maata kesävalunta on pienintä, koska haihdunta on suurta ja maalla on paljon imeyttämiskapasiteettia. Mutta rakennetussa taajamassa, jossa on paljon vettä läpäisemätöntä päällystettä, valunta voi olla suurinta, koska kesän sateet ovat intensiivisempiä kuin muulloin vuoden aikana.
3. Syysvalunnalla tarkoitetaan syyskuun alusta lumen tuloon saakka syntynyttä valuntaa. Kesimääräinen syysvalunta on eteläisessä Suomessa 50..100 mm välillä. Pohjois-Suomessa se on pienempi kuin lumen tulo tulee aikaisemmin.
4. Talvivalunta on pysyvän lumenpeitteen aikana tapahtuvaa valuntaa. Luonnollisesti se on pääosin pohjavesivaluntaa ja sitäkin on melko vähän. Etelä- ja lounaisrannikolla suojasäät saattavat kuitenkin aiheuttaa suurtakin valuntaa. Talvivalunnan keskimääräinen määrä on alle 50 mm.[2, s. 100-101.]

4.2.3 Sadannan ominaisuuksien vaikutus valuntaan

4.2.3.1 *Intensiteetti*

Vaikka sade olisi kokonaismäärältään suuri, se voi valuntana jäädä pieneksi, ellei sen intensiteetti ylitä maan imeyntäkykyä merkittäväällä osalla valuma-aluetta.

4.2.3.2 *Kesto*

Jos sadannan kesto kestää pidempään kuin normaalin valunnan kerääminen, aiheuttaa valunta tulvimista kun normaalien valuntareittien kapasiteetti on jo täyttynyt. Toinen merkittävä tekijä sateen jatkuessa kauan, on jo vettyneen maanperän huonompi imeytymiskyky normaaliin verrattuna.

4.2.3.3 *Ajallinen jakauma*

Tämä tekijä on erityisen merkittävä pienillä valuma-alueilla, jos sateen alku on kovin intensiivinen ja valunta täyttää nopeasti tulvareitit vedellä. Loppusateella on silloin suurempi tulvavaikutus kuin että sataisi päinvastaisella tavalla. Suurella valuma-alueella, vaikka sade olisi alku intensiivinen, valunta-huippu on paljon tasaisempi.

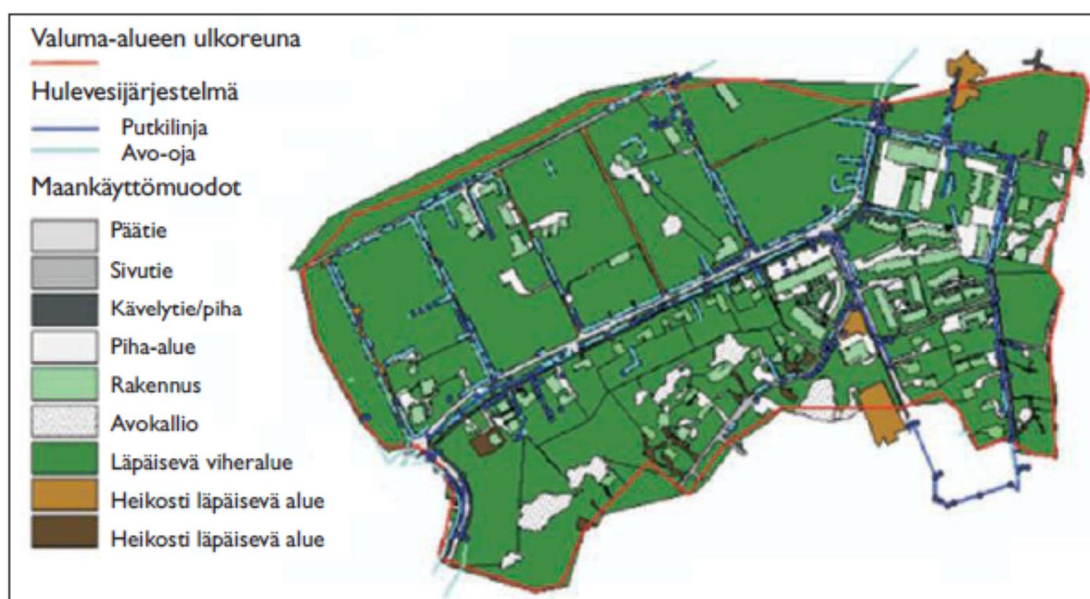
4.2.3.4 *Alueellinen jakauma*

Jos sataa paljon juoksun alaosassa, on valunnan huippu paljon terävämpi. Kun alueen ylä-osassa sataa eniten, kasvaa valunta hitaasti ja huippu jää pienemmäksi.

4.2.3.5 *Liikesuunta*

Tämä koskee pääosin pitkiä valunta-alueita. Jos sadepilvi liikkuu ylhäältä alaspäin valuma-aluetta pitkin, voi pahimmassa tapauksessa sateen aiheuttama valunta ylämaastosta saapua samaan aikaan kuin sadepilvi. Silloin valuntamäärät voivat kasvaa todella suuriksi. [3, s. 158.]

4.2.4 Aluetekijät, viipymä



Kuvio 3. Alueen kuvaus [1, s. 77]

Aluetekijät ovat myös hyvin merkittävä osa valunnan käyttäytymisestä. Kaksi suurinta tekijää ovat keskikaltevuus ja kasvusto. Keskikaltevuus on enemmän tai vähemmän muuttamaton tekijä, kasvusto sen sijaan voi muuttua paljolti rakentamisen myötä. Kasvuston voi myös jakaa kahteen osaan; siihen kasvillisuuteen joka pysyy samana vuoden ympäri (puut) ja kasvillisuuteen joka ei pysy samana kaikkina vuodenaikoina.

Fysiografiset tekijät eli aluetekijät voidaan jakaa seuraavasti:

4.2.4.1 Valuma-alueen perusominaisuudet

Tässä otetaan huomioon valuma-alueen koko, muoto ja järvisyys. Suuri pinta-ala tarkoittaa suurempaa pinta-alaa, eli pidempää aika kerätä valumaa, mutta samalla suurella alueella aluesadannan tai lumen sulannan intensiteetti pienenee. Näin myös valuntauhiippu loivenee valuma-alueen suuretessa.

Alueen muoto vaikuttaa merkittäväällä tavalla valunnan keräytymisaikaan. Nopeimmin vedet kerää pyöreä alue, hitaimmin kapea alue, mutta vain jos muut valuma-tekijät pysyvät muuttamattomina. Tulvariskit ovat näin ollen suurempia pyöreillä alueilla. Järvet toimivat pysähdysaltaina ja tasoittavat valuntauhiippuja, sekä ali- että ylivaluntauhiippuja. Mutta vaikka järvet tasoittavat valuntoja, ne voivat kasvattavaa vuosivaluntojen välisiä eroja.

4.2.4.2 *Topografia*

Jyrkkä maasto merkitsee sadannan nopeaa keräytymistä sekä tulvan suurta riskiä. Suomessa lumen sulamisen jyrkässä maastossa ei ole huomattu vaikuttavan olennaisesti valuntaan, johtuen maaston pienipiirteisyydestä. Toisin sanoen, lumen sulaminen tapahtuu eriaikaisesti rinteissä. Valunnalla on selkeä yhteys alueen korkeussuhteilla. Korkeuden kasvaessa se merkitsee sadannan lisääntymistä ja ilmaston kylmenemistä, ja haihdunnan vähentymistä. Sen takia valunta voi kasvaa huomattavasti korkeussuhteiden kasvaessa.

4.2.4.3 *Maa- ja kallioperä*

Näillä on suurin vaikutus imeyntäkykyyn, suodantaan sekä paljonko vettä on pohjavesivarastoissa. Karkeiden maalajien hyvä imeyntäkyky karsii tehokkaasti ylivaluntaa ja sen seurauksesta tulvaa. Karkeat maaperät täyttävät myös imeytymistehokkuutensa takia pohjavesivarastoja. Pohjavesivarastoja voi hyvinkin miettiä järvinä valunnantasajina, monessa tapauksessa ne ovat järviäkin tehokkaampia tasamaan valuntaa.

4.2.4.4 *Kasvillisuus*

Alueella, jolla on tiheä kasvusto, sen valuntahuippu on paljon loivempi kasvipeitteen takia. Kasvipeite estää valunnan nopea virtausta maanpintaa pitkin ja näin ollen hidastaa valunnan kertymistä. Vielä merkittävämpää on, miten tiiviissä maassa kasvillisuuden juuristo on. Kuohkeassa maassa oleva juuristo on hyvin tehokas tapa puuttua ja vaikuttaa valuntaveden hallittuun käsittelyyn.

4.2.4.5 *Maastotyyppi*

Maastotyyppi koskettaa osittain edellistä aluetekijää, mutta suuremmassa mittakaavassa. Metsän katsotaan yleisesti tasoittavan valunnan vaihteluita. Luonnontilaiset suot pienentävät ylivalumia, koska suot purkavat hyvin hitaasti vettä. Joten suoalue toimii valunnan tasoittavana tekijänä.

4.2.4.6 *Ihmisen muokkaus uomat ym.*

Jos alue on tiheästi ojitettu, sateen tapahtuessa vettä kerääntyy nopeasti ja valuntamäärät kasvavat nopeasti suuriksi. Ihmisten sormijälki maastossa on hyvin merkittävä tekijä ja sen takia tulee rakennetun alueen vaikutukset ottaa huomioon suunnitellessa.

[3, s. 159.]

4.3 Hulevesivirtaamat rakennetussa ympäristössä

4.3.1 Mitoitussateen määrittäminen valuma-alueelle

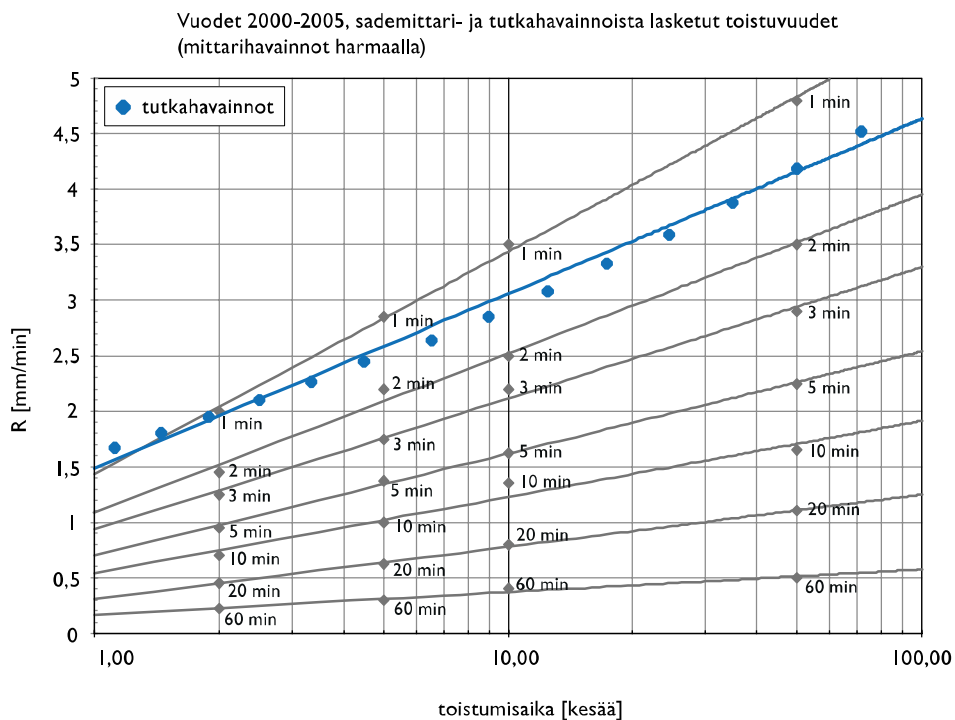
Määrätäksemme oikean mitoitusateen, määritellään minkälainen välitön veden poistojohtamiskapasiteetti viemäriverkostolla ja tulvareiteillä tulisi olla. Yleensä viemäreitä ei mitoiteta rajujen rankkasateiden aiheuttamien vesimäärien kuljettamiselle, vaan suurempien sateiden aikana sallitaan viemäreiden tulvimista ja lammikoiden syntyä alavilla kohdilla. Se mikä lopulta määrää minkälaisen mitoitusateen mukaan laskee, riippuu tulvan aiheuttamista kustannusriskeistä.

Kolme tärkeintä tekijää mitoitusateen määrittämisessä on:

- Sateen rankkuus
- Sateen kesto aika
- Sateen toistuvuus

Tekijä, joka myös määrittää kohdealuetta, on minkälaisia ja miten paljon rakenteita on tulvavaaravyöhykkeessä. Tästä syystä pienten paikkakuntien käyttämät mitoitusarvot ovat pienempiä, kun tiiviisti rakennettujen kaupunkien. Toinen tekijä on, minkälainen viemärijärjestelmä alueella on. Jos viemäri on pelkästään rakennettu hulevesikäyttöön, sen tulviminen ei yleensä aiheuta suurta vahinkoa. Mutta jos on kyseessä sekajärjestelmä, sen tulviminen on selkeästi haitallisempi. Paikkakunnilla jossa normaalisti sataa enemmän, mitoitusateen rankkuus on suuri verrattuna vähäsateiseen paikkakuntaan. [19.]

Mitoitusate valitaan alueen olosuhteiden perusteella. Tiiviisti rakennetun ympäristön hulevesijärjestelmän mitoitusateen kestoajaksi valitaan Suomessa yleensä 10...15 min. Mutta suurten alueiden mitoitusate mitoitetaan valuma-alueen koon mukaan määräävin sade. Sateen toistumisjaksolla tarkoitetaan sitä, millä todennäköisyydellä tilastojen mukaan sade toistuu. Toistuvuuden mitoitusateelle valitaan paikallisten olosuhteiden ja viemärointimenetelmän perusteella. Kaupunkien hulevesiviemärijärjestelmälle käytetään 2-3 vuoden välein toistuvia rankkasateita. Liikennevirasto edellyttää mitoituksessa 10 vuoden toistumisaikaa ja tulvareittien mitoituksessa toistumisaika voi olla 100-200 vuotta. Toisaalta, toteutuskohteen tavoitteista riippuen, voidaan hulevesijärjestelmille käyttää kuukauden välein toistuvia sateita mitoitusateina ja suurempien sateiden vedet voidaan johtaa rakenteen ohi. [17, s. 86; 2, s. 327.]



Kuvio 4. Sääutukilla v. 2002-2005 mitatun 1 km²:n aluesadannan toistuvuus (värilliset käyrät) verrattuna Katajiston (1969) pistesadannan toistuvuuksiin (harmaat pisteet ja viivat). Kaikki sadannat on esitetty keskimääräisenä intensiteettinä (P), yksikkönä mm/min. Värilliset pisteet kuvaavat havaintojen todennäköisyysjakaumista laskettuja toistuvuuksia. [17, s. 182.]

4.3.2 Lumen sulamisen määrittäminen

Kun valuma-alueen pinta-alue on suurempi kuin 100 ha, on yleensä mitoitettava lumen sulamisen aiheuttama ylivirtaama, lukuun ottamatta rakennettujen alueiden viemärointiä. Mitä suurempi maastovastus valuma-alueella on (pienempi valuma-kerroin), voi mitoitussvirtaama syntyä lumen sulamisesta jo paljon pienemmällä alueella kuin 100 ha.

4.3.3 Valuma-alueen ominaisuuksien määrittäminen

Valuman määrittämisessä otetaan huomioon valuma-alueen

- Koko
- Valumakerroin
- Virtausnopeus

Valuma-alueen koko määritetään tutkimalla alueen topografiaa, käyttämällä esimerkiksi pohjakartan korkeuskäyriä tai laserkeilausaineistoa. Lähtöaineistosta määritellään, min-
kä suuruiselta alueelta kertyy pintavaluntaa tutkittavaan kohteeseen. Valumaa-alueen määrittämisessä on myös otettava huomioon, jos luonnollisen valuma-alueen ulkopuolelta johdetaan valumavesiä viemäriverkoston tai hulevesireittien kautta alueelle.

Paljonko vettä imeytyy ja paljonko valuu eteenpäin, riippuu lähinnä valuma-alueen ominaisuuksista. Yksinkertaisimmillaan aluetta voi kuvata valumakertoimilla, mikä on ainakin hulevesiviemäreiden mitoitukselle riittävä tieto. Valumakerroin on arvio kaikista sadanta-valuntatekijöistä, joka käsiteltiin luvussa 4.2.

Taulukko 3. Valumakertoimia eri pinnoilla [17, s. 183]

Pinnan tyyppi	Valumakerroin ψ
Katto	0,80...1,00
Asfalttipäällyste	0,70...0,90
Tien nurmetettu luiska	0,40...0,60
Avoin kalliomaasto	0,30...0,50
Soratie, soraluiska	0,20...0,50
Nurmipintainen piha, puisto	0,10...0,40
Niitty, pelto, puutarha	0,10...0,30
Suo	0,05...0,15
Kumpuileva sekametsä	0,05...0,20
Tasainen metsämaasto	0,10...0,10
Tasainen sorakenttä	0,00...0,05

Pelkästään valumakerroin ja valuma-alueen pinta-ala ei riitä hulevesien johtamisen suunnitteluun. Pitää myös määritellä hulevesivalunnan ajallinen esiintyminen valuma-alueen purkupisteessä, mitä kuvataan kerääntymisajan käsitteellä. Yleisesti määritellään kertymisaika seuraavasti; veden virtausaika valuma-alueen kauimmaisesta pisteestä purkupisteeseen. Virtausaika määritetään virtausreitin pituuden ja virtausnopeuden perusteella. [17, s. 183.]

Taulukko 4. Ohjeelliset virtausnopeudet eri reiteillä. [17, s. 183]

Virtausreitti	Ohjeellinen virtausnopeus [m/s]
Putket	
- pienet	1.5 m/s
- suuret	1.0 m/s
Ojat	0.5 m/s
Maasto	0.1 m/s



Kuvio 5. Kyrönjoen tulvahuippu 2010. [27]

5 Tulvakartoituksen taustaa

Tulvakartoittamisessa tuotetaan aluemaista tulviin liittyvää paikkatietoa karttapohjalle. Sen luo perustan tehokkaalle tulvariskien hallinnoimiselle. Tulvakarttoja voidaan käyttää apuvälineenä tulvariskien hallintasuunnitelmien laatimisessa, tulvavahinkojen torjunnassa maankäytön suunnittelussa, tiedotuksessa, pelastustoimissa ja alimpien rakentamiskorkeuksien määrittämissä. [11, s. 10.]

5.1 Vesipuitedirektiivi (VPD)

EU:n laatiman vesipuitedirektiivin tehtävä on yhtenäistää EU:n vesiensuojelua. Direktiivin johdosta Suomessa säädettiin vuonna 2004 vahvistettu laki vesienhoidon järjestämisestä. Laki sisällyttää sekä pinta- että pohjavesiä. Sen tavoite on suojella, parantaa ja ennallistaa vesiä niin, ettei niiden tila heikkene ja että vesistöjen tila on hyvä tai erinomainen vuonna 2015. Vaikkei tulvariskien hallinta ei kuulu VPD:n päätavoitteisiin, sen avulla voi kuitenkin edistää tulvariskien lieventämistä. Tulvariskien hallintasuunnitelmat on sovittava VPD:n hoitosuunnitelmien kanssa. [11, s. 10.]

5.2 Tulvadirektiivi

Euroopan unionin laatima direktiivi tulvariskien arvioinnista ja hallinnasta hyväksyttiin 23.10.2007 ja siitä tuli lainvoimainen 26.11.2007 [22].

Tulvadirektiivin tarkoituksena on:

”Luoda tulvariskien arvioinnille ja hallinnalle puitteet, joilla pyritään vähentämään yhteisön alueella esiintyvien tulvien johdosta ihmisten terveydelle, ympäristölle, kulttuuriperinnölle ja taloudelliselle toiminnalle aiheutuvia vahingollisia seurauksia” [23].

Tavoitteiden saavuttamiseksi jäsenvaltioilta ohjeistetaan kolmivaiheeseen työjärjestykseen tulvien hallinnan kehittämiseen.

- a) tulvan esiintymisen todennäköisyys on vähäinen tai tulva on mahdollinen äärimmäisissä olosuhteissa,
- b) tulvan esiintymisen todennäköisyys on keskisuuri (todennäköinen toistumisaika ≥ 100 vuotta) ja

- c) tarpeen mukaan alueet, joilla tulvan esiintymisen todennäköisyys on korkea [23].

Suomessa laaditaan tyypillisesti tulvavaarakartat toistuvuusajoille kerran 20, 50, 100, 250 ja 100 vuodessa. Kartoissa on osoitettava vahingolliset seuraukset seuraavasti

- a) seurauksista mahdollisesti kärsivien asukkaiden viitteellinen määrä,
- b) seurauksista mahdollisesti kärsivällä alueella harjoitettavan taloudellisen toiminnan tyyppi,
- c) laitokset, jotka voivat aiheuttaa äkillistä pilaantumista tulvatilanteessa ja seurauksista mahdollisesti kärsivät suojelualueet sekä
- d) muut tiedot, jotka jäsenvaltio katsoo hyödyllisiksi, kuten sellaisten alueiden nimeäminen, joilla saattaa esiintyä tulvia, joiden mukana kulkeutuu paljon kiinteää ainesta ja tiedot muista merkittävistä pilaantumista aiheuttavista lähteistä. [20; 21.]

Tulvariskien hallintasuunnitelmissa on esitettävä tulvariskien hallintatavoitteet ja mitkä ovat tarvittavat toimenpiteet niiden saavuttamiseksi. Suunnitelmissa keskitytään tulvien ehkäisyyn, suojeluun ja valmiustoimiin vesistöalueen mukaisesti. Kaikki tulvariskihallinnan näkökohdat on käsiteltävä suunnitelmissa. [11, s. 11.]

5.3 Laki tulvariskien hallinnasta

Vuonna 2010 on Suomessa säädetty laki, tulvariskien hallinnasta. Tulvariskilaille pyritään [30]:

11 §

Tulvariskien hallinnan tavoitteet

Tulvariskien hallinnan tavoitteena on vähentää 8 §:n 1 momentissa tarkoitettuja vahingollisia seurauksia. Lisäksi on pyrittävä siihen, että vesistötulvista aiheutuvat vahingolliset seuraukset vesistöalueella jäävät kokonaisuutena arvioiden mahdollisimman vähäisiksi. 8 §:n 1 momentti: Alue, jolla 7 §:ssä tarkoitettun arvioinnin perusteella todetaan mahdollinen merkittävä «tulvariski» tai jolla sellaisen riskin voidaan olettaa ilmenevän, nimetään merkittäväksi tulvariskialueeksi. Tulvariskin merkittävyyttä arvioitaessa otetaan huomioon tulvan todennäköisyys

sekä seuraavat tulvasta mahdollisesti aiheutuvat yleiseltä kannalta katsoen vahingolliset seuraukset:

- 1) vahingollinen seuraus ihmisten terveydelle tai turvallisuudelle;
- 2) välttämättömyyspalvelun, kuten vesihuollon, energihuollon, tietoliikenteen, tieliikenteen tai muun vastaavan toiminnan, pitkäaikainen keskeytyminen;
- 3) yhteiskunnan elintärkeitä toimintoja turvaavan taloudellisen toiminnan pitkäaikainen keskeytyminen;
- 4) pitkäkestoinen tai laaja-alainen vahingollinen seuraus ympäristölle; tai
- 5) korjaamaton vahingollinen seuraus kulttuuriperinnölle.

Lain mukaan Tulvariskien hallintasuunnitelmaa laaditaan seuraavasti [30] :

10 §

Tulvariskien hallintasuunnitelma

Vesistöalueelle, jolle on nimetty yksi tai useampi merkittävä tulvariskialue, sekä merenrannikon merkittävälle tulvariskialueelle laaditaan tulvariskien hallintasuunnitelma. Jos vesistön tulvimisesta ja merenpinnan noususta aiheutuva «tulvariski» kohdistuu samalle alueelle, vesistöaluetta ja merenrannikkoa koskevat tulvariskien hallintasuunnitelmat voidaan yhdistää. Hulevesitulvien hallintasuunnitelma laaditaan 19 §:n 2 momentissa tarkoitetulle alueelle. Tulvariskien hallintasuunnitelmassa esitetään tulvariskien hallinnan tavoitteet kullekin merkittävälle tulvariskialueelle sekä toimenpiteet, joilla tavoitteet pyritään saavuttamaan. Toimenpiteitä valittaessa on pyrittävä vähentämään tulvien todennäköisyyttä sekä käyttämään muita kuin tulvasuojelurakenteisiin perustuvia tulvariskien hallinnan keinoja, jos se olosuhteet kokonaisuutena huomioon ottaen katsotaan tarkoituksenmukaiseksi. Suunnitelmassa tarkastellaan toimenpiteiden kustannuksia ja hyötyjä sekä esitetään toimenpiteiden etusijajärjestys.

5.4 Tulvavaarakartat Suomessa

Tulvavaarakartalla esitetään tulvan laajuus ja riskien aste karttapohjalla tietyllä todennäköisyydellä. Riskiaste voidaan ilmaista vesisyvyytensä, virtausnopeutena, edellisten yhdistelmänä, tulvan leviämisenopeutena tai tulvan kestonä.

Tulvariskikarttaa voidaan luokitella lähtötietojen tarkkuuden perusteella joko yleispiirteisiin tai yksityiskohtaisiin tulvariskikarttoihin [11, s. 12].

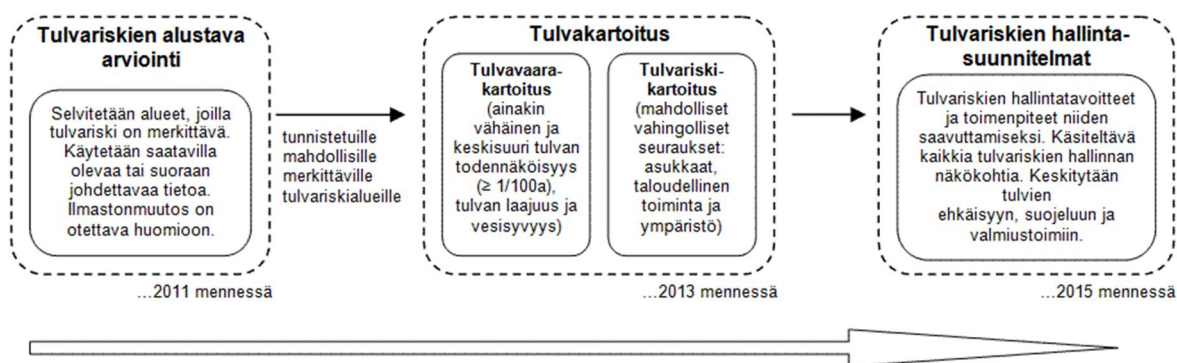
Yleispiirteinen tulvavaarakartta laaditaan edullisesti saatavilla olevista lähtötiedoista, kuten esimerkiksi kuntien korkeusaineistoa. Se antaa yleiskäsittelen eri toistuvuusajoilla esiintyvien tulvien laajuudesta ja vesisyvyydestä, mutta siihen ei voi täysin luottaa yksityiskohtaisissa. Yleispiirteisiä tulvavaarakarttoja käytetään yleensä maakunta- ja yleiskaavatasolla.

Laadittaessa tulvariskikarttaa voidaan käyttää yleispiirteisistä tulvavaarakarttaa, mutta sen heikkoudet tulee ottaa huomioon.

Jos kyseessä on merkittävä riskialue, sille laaditaan yksityiskohtainen tulvavaarakartta. Se perustuu tarkkaan korkeusmalliin ja jokikohteissa myös hydrauliseen virtausmallinnukseen. Maanpinnasta luodun korkeusmallin keskimääräisen virheen tulee olla pienempi kuin 30 cm. Tähän nykyiset valtakunnalliset korkeusaineistot eivät yllä. Laserkeilaustekniikan yleistyessä korkeusaineistot tulevat tulvaisuudessa olemaan riittävät.

Poiketen yleispiirteisistä tulvavaarakartoista, yksityiskohtaisten tulvavaarakarttojen avulla voidaan myös toteuttaa rakennuskohtainen tulvariskikartoitus. Taustakarttana voidaan käyttää tavallista pohjakarttaa (yleensä mittakaavassa 1:20 000). Tehdyt tulvavaarakartat tallennetaan Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämään tulvatietojärjestelmään.

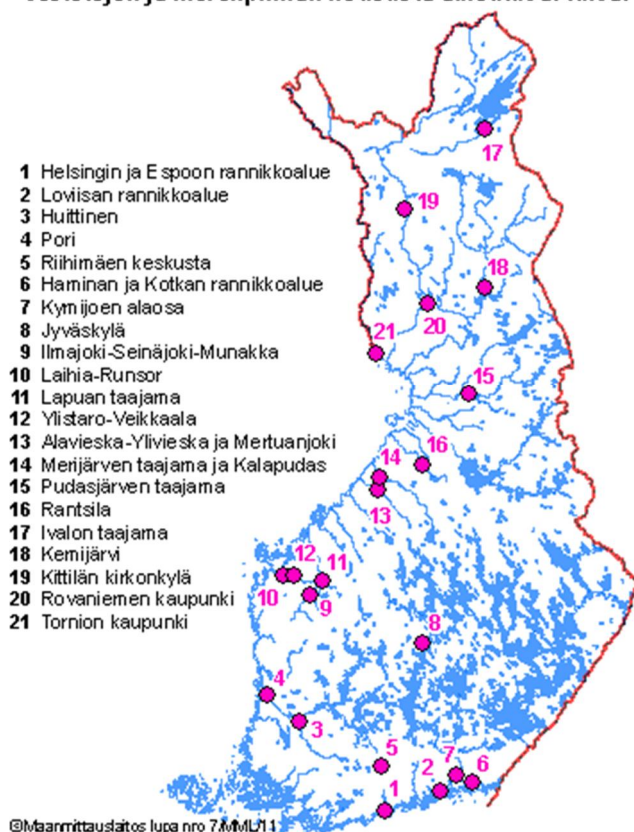
Vastuu tulvariskikartoituksen laatimiseen on jaettu Elinkeino, -liikenne, ja ympäristökeskukselle ja kunnille. Elinkeino, -liikenne, ja ympäristökeskuksen vastuu on laatia tulvavaara- ja tulvariskikartat vesistöalueille ja meren rannikolle. Kuntien, joita vastuu koskee, on osallistuttava tulvariskihallinnan suunnitteluun. Kuntien vastuu on nimeä hulevesitulvien merkittävät tulvariskialueet ja laatia alueille tulvavaarakartat ja tulvariskikartat. [11, s. 13; 30.]



Kuvio 6. Tulviin varautuminen käynnistyy tulvariskialueiden tunnistamisella. Tunnistetuille alueille laaditaan tulvavaara- ja tulvariskikartat. Vaarakartalla esitetään tulvan laajuus ja syvyys, riskikartalla lisäksi erilaisia haavoittuvuuden parametreja, kuten väestön määrä ja vaaralliset tai vaikeasti evakuoitavat kohteet. Karttoja hyödynnetään myöhemmin laadittavissa tulvariskien hallintasuunnitelmissa. Eri vaiheiden valmistamiselle säädetään tulvadirektiivissä takarajat. [11]

Ehdotukset merkittäviksi tulvariskialueiksi 1.4.2011

- vesistöjen ja merenpinnan noususta aiheutuvat tulvat



Kuvio 7. ELY-keskuksen ehdottamat alueet Maa- ja metsätalousministeriölle. [28]

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123383&lan=fi>

6 Tulvien ehkäisy- ja hallintamenetelmät

6.1 Vesistötulvat

Käsiteltäessä kiinteistöjen, henkilöiden tai muun suojaamista tulvilta, tarkoitetaan yleensä pysyviä tulvilta suojaavia rakenteita. Rakenteiden pääasiallinen tarkoitus on estää tai vähentää tulvista aiheutuvia vahinkoja. Yleisimmät tavat ovat jokien ja purojen perkaukset, rantojen pengerrykset ja vesistöjen säännöstelytoimenpiteet.



Kuvio 8. Helsingin Kauppatori [12]

Suomen maatalouden haastavimmat alueet suojautua tulvilta sijaitsevat Länsi- ja Etelä-Suomen alavilla jokivarsimaisemilla, joilla tulvavahinkoja on pyritty estämään ja vähentämään maatalouden toimintaedellytysten turvaamiseksi. Kun tulvilta suojeltava alue on ollut kooltaan vähintään noin 50 000 ha, on alueella yleensä tehty tulvasuojelutöitä, joista suurin osa on saatu valmiiksi 1990-luvulla. Vaikka mittava suojelutyö on suurilta osin jo rakennettu, arvioidaan, että maassamme on edelleen noin 60 000 ha tulvahaistoista kärsiviä peltoja. Mutta vain pieni osa peltoalueista kannattaa taloudellisista syistä suojata.

Viime vuosina on tiiviisti rakennetun kaupunkiympäristön suojelu tulvilta noussut tärkeämmäksi tavoitteeksi. Maaseudulla asutusta palvelevissa, lähinnä pienin pengerryksin

toteutetuissa tulevansuojelutoissa, on usein kyse ollut joen tai meren tulvimisesta. Taa-jama-alueella suurempi merkitys on huleveden hallinnalla, tulvareittien suunnittelulla, tasauksilla, tasausaltailla ym. Näin ylivirtaamakausina, esimerkiksi kesän rankkasateiden aikana pyritään siihen, että hulevedet ohjataan hallitusti pois asutetulta alueelta eikä suuri virtaama aiheuta tulvintaa. Ilmastomuutoksen ja kaupungistumisen takia hulevedenhallinta on melko uutta Suomessa. Viimeisimpiä esimerkiksi Poriin elokuussa 2007 iskenyt hulevesitulva ja siitä aiheutuneet 20 miljoonan taloudelliset vahingot, nosti esiin tulvan ehkäisymenetelmien tärkeyden.

Suunnittelun tavoitteet tulvavahinkojen vähentämiseksi määritellään alueen maankäytön perusteella. Maatalousalueella tulva pyritään estämään keskimäärin kerran 20 vuodessa tai harvemmin toistuvien tulvien mukaisesti (vuotuinen todennäköisyys 5 %). Asutusalueet suunnitellaan alueen keskimäärin kerran 100 vuoden tai harvemmin toistuvien tulvien mukaisesti (vuotuinen todennäköisyys 1 %). Viime vuosina on tulvasuojelussa kiinnitetty erityistä huomiota vesistökunnostukseen, maisemanhoitoon, luonnon monimuotoisuuteen ja vesistökuormituksen vähentämiseen. Käytännössä se tarkoittaa, että pyritään suunnittelemaan mahdollisimman luonnonmukaiset tulvarakenteet samalla kun mietitään, minne vesi johdetaan tulva-alueelta ja minkä laatuinen vesi on sen huuhdeltua alueen. Tavoite on noudattaa luonnonmukaisen tulvasuojelun periaatteita. Miltei poikkeuksetta on jokaiselle tulvasuojelutoimella saatava aluehallintovirasto (AVI) lupa. [13.]

6.2 Hulevesi- ja vesistötulvien ehkäisymenetelmät

6.2.1 Yleistä

Paras tapa suojata rakenteet tulvalta on rakentaa tarpeeksi korkealle. Tämä ei ole aina mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa, jolloin on turvauduttava muihin menetelmiin. Parhaat menetelmät ovat kiinteitä rakenteita, jotka on riittäväksi mitoitettu, mutta joskus on tyydyttävä tilapäisiin tulvarakenteisiin.

6.2.2 Kiinteät tulvapenkereet

Tulvapenkereen mitoittamisessa seurataan patoturvallisuusopasta. Patoturvallisuuslain PTL 4 §:n mukaan tulvapenkereen tarkoitus on estää veden leviäminen vesistön tai meren tavanomaista korkeamman vedenkorkeuden aikana. Patoturvallisuusasetuksen PTA 3 §:n mukaan tulvapenkereen hydrologinen mitoitus tehdään tulvasuojelun tarpeen mukaan. [15.]



Kuvio 9. Romahtanut kiinteä tulvapenger[14]

Tulvasuojelua varten oleva penger suunnitellaan samalla tavalla kuin vastaava pato, ottaen huomioon PTL 6 §:n mukaiset suunnittelijan pätevyysvaatimukset. Tulvapenkereiden turvallisuusvaatimukset ovat samat patojen kanssa, mutta 1- ja 2-luokan padon korkeus ja harjan liikennöintikelpoisuus ei koske tulvapenkereitä. Tulvapenkereet on usein rakennettu paikalta saatujen materiaalien avulla. Penger tulee suunnitella siten, että patoturvallisuuskohdat otetaan huomioon niin, että penger pysyy turvallisena myös silloin, kun veden korkeus ylittää penkereen.

Kun tiedetään, että syystä tai toisesta on mitoitettava tulvapenger alle mitoitusvedenkorkeuden, tulee vesimassojen ohjaaminen suunnitella etukäteen, jotta kokonaisvahingot jäisivät mahdollisimman pieniksi. Vesimassan hallittu ohjaus tapahtuu esimerkiksi tulvaluukuilla, ylisyöksykynnyksillä tai avaamalla pengertä suunnitellulla tavalla. [15.]

6.2.3 Tilapäiset tulvapenkereet

Tilapäisiä tulvasuojelurakenteita käytetään lähinnä rakennusten suojaamisessa enemmän kuin tieosuuksien suojaamisessa. Nopeasti pystytettävillä tulvasuojelurakenteilla suojataan erityisesti kohteita jokivesistöjen varsilla. Lähtökohtaisesti on pyrittävä tekemään riskialueella tulvasuojelutöitä, kuten perkauksia ja pengerryksiä. Mutta yksittäisten kohteiden kyseessä ollessa on vahinkokohteiden suojaus kuitenkin usein edullisempi vaihtoehto. Käyttökohteita tilapäisille tulvasuojelurakenteille on myös merenranta-kohteissa. [16.]

Tulvasuojelurakenteet ovat pääsääntöisesti maa-aineksella kuten hiekalla täytettyjä paaleja tai säkkejä. Tilapäisten rakenteiden on oltava tiiviitä ja tarpeeksi korkeita. Vedenpitävyyttä parannetaan muovikalvolla tai muulla vesieristeellä. Rakenteen tulee kestää vedenpaineen aiheuttama rasitus kaatumatta, liukumatta ja murtumatta. Maaperän ja rakenteen kautta tulevien suoto- ja vuotovesien määrän tulee pysyä kohtuullisena, eikä vesi saa päästä suojattavan rakennuksen perustuksiin saakka. Suojattavalle alueelle tulevien hulevesien sekä suoto- ja vuotovesien poistamiseksi tulee huolehtia riittävästä pumppauskalustosta.

Tilapäisiä tulvasuojelurakenteita:

- Maarakenteiset suojavallit
 - Perinteinen maavalli
 - Hiekkasäkkivalli
 - Suurhiekkasäkit
 - Big Bag
 - Hesco Bastion
 - Quick Damm
- Suojavalli pahvipaaleista
- Siirrettävät tulvaseinät

- Geodesign Barriers
- Puukehikot
- Vesi- tai ilmatäytteiset suojavallit
- Tulvaseinät kiinteillä perustuksilla.



Kuvio 10. Erilaisia maarakenteisia suojavalleja: Hesco Bastion tulvamuuri ja Alfa-Bag. [16]

Siirrettäviä tulvaseiniä käytetään tasaisella maalla rakennettaessa suoraa tulvasuojausta lyhyessä pystytysajassa. Rakenteen etupuolelle joudutaan tiivisteksi levittämään muovikalvo. Muovin etureunalle tarvitaan painoa sen paikalla pitämiseksi ennen vedenpaineen vaikutusta. Kovalla tuulella on joidenkin rakenteiden pystyssä pysyminen tarkastettava ennen tulvavettä. Rakenne voidaan ankkuroida maahan tai sen päälle voidaan asettaa lisäpainoja. [16.]



Kuvio 11. Steel Barrier -tulvaseinä, korkeus 1,25 m. Oikealla myös vesieristeenä toimiva muovi ja sitä paikoillaan pitävä ketju. [14]

6.3 Hulevestulvan hallintamenetelmät

6.3.1 Tulvareitit

Tulvareitillä tarkastellaan huleveden hallittu johtaminen pois. Tulvareitillä huomataan myös tarvittava kapasiteetti ja tarvittavat virtaamahidasteet (kosteikot ja painanteet).

6.3.2 Huleveden viivytyksen menetelmät

6.3.2.1 Imeytys

Hulevesiä voidaan hallita ottamalla ne talteen rakennetuilla imeytysalueilla jotka ovat mahdollisimman lähellä huleveden synnynpaikkaa. Näin hulevesikuormitus vähenee. Muita hyviä vaikutuksia imeytettäessä hulevesi maakerrosten läpi on, että veden laatu paranee, samalla lisätään huleveden viipymää ja pienennetään virtaamahuippuja sekä ylläpidetään pohjavesivarastoja.

Rakenteeltaan imeytysallas on matala maan pinnalla oleva syvennys tai painanne, johon hulevedet johdatetaan. Rakenne voidaan toteuttaa tekemällä useita imeytysaltaita peräkkäin ja porrastamalla ne sopivasti. Imeytystä edistäviä päällysteitä ovat viheralueet, sorapinnat, kenttäkiveys, erilaiset reikäkiveykset ja huokoinen avoin asfaltti.

6.3.2.2 Kasvillisuuspainanteet

Kasvillisuuspainanne on painanne, joka on peitetty kasvillisuudella. Kun hulevesi johdatetaan painanteita pitkin, kasvattaa kasvillisuus huleveden viipymää ja tasoittaa virtaamahuippuja. Kasvillisuuspainanne suodattaa myös hulevedestä kiintoaineet ja osa vedestä imeytyy maaperään.

Alueilla, jotka ovat tiiviisti rakennettuja, eikä hulevesien imeyttäminen ole mahdollista, hulevedet johdatetaan hallitusti kauemmaksi käsiteltäväksi esimerkiksi altaaseen tai kosteikkoon.

6.3.2.3 Viivytyksaltaat

Viivytyksaltaiden avulla voidaan tasata virtaamavaihteluja, vähentää huleveden määrää, lisätä huleveden viipymää ja parantaa huleveden laatua. Muita hyviä ominaisuuksia ovat, että niiden avulla pystytään ylläpitämään pohjavesi- ja pintavesivarastoja ja maankosteustasapainoa.

Viivytysaltaiden parantava vaikutus huleveden laatuun perustuu kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden epäpuhtauksien laskeutumiseen altaan pohjalle. Tämä toimii hyvin, allas on mitoitettu niin, että siinä on jatkuvasti vettä.

6.3.2.4 *Kosteikko*

Kosteikko on märkänä pidettävä alue, jonka mitoitus perustuu kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden epäpuhtauksien laskeuttamiseen kosteikon pohjalle. Kosteikoihin on myös mitoitettu biologisesti ravinteita poistava kasvillisuus. [7, s. 67-71.]



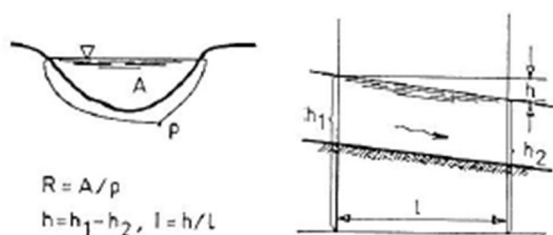
Kuvio 12. Kosteikko [29]

7 Tulvareitin kapasiteetin määrittely

7.1 Avo-uoma

Suomessa huleveden yksinkertaisin ohjaaminen tapahtuu avo-uomien avulla. Avo-uoma on yksinkertaisimmillaan verhoamaton oja, jonka luiskan kaltevuus riippuu maailajista ja kaivussyvyydestä. Avo-uoman määrittämisessä on kaksi rajoittavaa tekijää. 1) Avo-uoman pituusprofiililla virtaus pyritään mitoittamaan tarpeeksi hitaaksi, jottei se aiheuta eroosiota.

2) Avo-uoman veden syvyys pitää olla riittävä, jotta virtauspoikkileikkaus pysyy riittävänä myös talviolosuhteissa.



Kuvio 13. Tasainen virtaus avouomassa. [2, s. 181]

7.1.1 Virtauksen mitoittaminen avo-uomalle

Kun avo-uoman virtausta määritellään, niin yleensä mitoitus suoritetaan otaksuen virtausnopeuden olevan tasainen ja käyttäen Manningin kaavaa [2, s. 186]:

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} / 1/2$$

R =	hydraulinen säde = A/p, kun
A =	virtauspoikkileikkaus
p =	märkä piiri, kuva 1
l =	uoman kaltevuus
v =	virtausnopeus
n =	kerroin, karkeusparametri

Taulukko 5. Manningin kaavan karkeuskertoimen tavallisimmat arvot.[2, s.181]

Materiaali	<i>n</i>		
	pienin	normaali	suurin
Messinkiputki	0,009	0,010	0,013
Valurautaputki	0,010	0,013	0,014
Muoviputki	0,008	0,009	0,010
Rumpuputki (bet.)	0,011	0,013	0,014
Viemäri, betoni	0,013	0,015	0,017
Viemäri, las. savi	0,013	0,015	0,017
Muottiin val. bet.	0,014	0,017	0,020
Kiviheitoke	0,023	0,033	0,036
Kaiv.uoma, hyväk.	0,018	0,022	0,025
Kaiv.uoma, ruoh.	0,022	0,027	0,033
Sileä louh. pinta	0,025	0,035	0,040

Taulukko 6. Sallitut virtausnopeudet eri maalajeissa [2, s. 181]

Maalaji tai verhous	V_{maks} (m/s)
Hieta, liejusavi	0,30
Hieno hiekka	0,35
Pehm. savi, maaton turve	0,40
Karkea hiekka	0,45
Hieno sora	0,60
Tiivis, lihava savi	1,15
Tiivis moreeni	1,20
Kivikko	1,50
Betoniverhous	4,00

7.2 Rummun mitoitus

7.2.1 Rumpuaukon mitoitus

Rumpua suunnitellessa tulee rumpuaukko mitoittaa siten, että virtausuoman poikkileikkauksen supistumisesta ei aiheudu haittaa tai vahinkoa. Yleisimmät vahingot syntyvät tulvimisen, eroosioon ja tien syöpmisen seurauksena. Rumpu on suunniteltava siten, että sen kunnossapito ei ole mahdoton. Riittävän kokoinen rummun suuaukko helpottaa rummun kunnossapitoa. [25, s.53; 5, s. 19.]

Jos rummun rakennustyöt vaativat uoman muokkaamista, vaikutukset tulee ottaa huomioon suunnittelussa.

Rummun poikkileikkaus voi olla pyöreä, ellipsin muotoinen taikka alaosastaan leveämpi mutta matalarakenteinen. Olosuhteista riippuen voidaan myös suunnitella kaksoisrumpu.

7.2.2 Rumpuputken mitoitus

Oikeankokoista rumpua mitoittaessa on laskettava, mikä on rummun kapasiteetti. Rummun mitoitus käsittää kaksi hydraulista osatehtävää, aukon koon ja pohjan korkeuden määrittäykset. Molempiin liittyy myös paljon rummun pituuskaltevuus, joka saisi olla niin suuri kuin rakennuspaikan olosuhteet sallivat. Minimihalkaisijavaatimukset rummuille ovat: rumpu yksityistiellä on vähintään 600 mm, yleisillä ja rautateillä vähintään 800 mm paitsi valta- ja kantateillä rummun minimihalkaisija on 1000 mm. Riittävän kokoinen rummunsuuaukko helpottaa rummun kunnossapitoa. [5, s. 19.]

Rummun kaltevuus mitoitetaan yleensä uoman mukaisesti. Suotavaa on, että rumpua ei tehdä 0,5..1,0 % uomaa kaltevammaksi, jottei virtausnopeus kasvaisi liian suureksi vaikka uoman kaltevuus olisi suurempi. [5, s. 19.]

Suurimmat häviöt tulevat kitkahäviöistä. Avo-uomissa rummut aiheuttavat paikallishäviötä supistumis- ja laajentumishäviöinä. Rumpujen materiaalit eroavat myös uoman luonnonseinästä ja aiheuttavat kitkahäviöitä. [2, s. 186; 25, s. 54.]

7.3 Rummun padotus

Yksi suurin tekijä rummun mitoittamisessa on kuitenkin padotus. Rummun padotus on tarpeen tarkistaa etenkin silloin, kun valuma-alueen sijainnin tai pinta-alan vuoksi mitoitusvirtaama muodostuu suureksi.

Padotus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$h = D \cdot \frac{1}{2 \cdot g} \left[\left(\frac{Q}{k \cdot A_r} \right)^2 - \left(\frac{Q}{A_u} \right)^2 \right]$$

h = padotuksen korkeus rummun yläpäässä (m)

D = padotuskerroin, ks. taulukko alla

g = maan vetovoiman kiihtyvyys = $9,81 \text{ m/s}^2$

Q = mitoitusvirtaama (m^3/s)

A_r = rummun virtausala (m^2) mitoitusvirtaamalla Q ilman padotusta

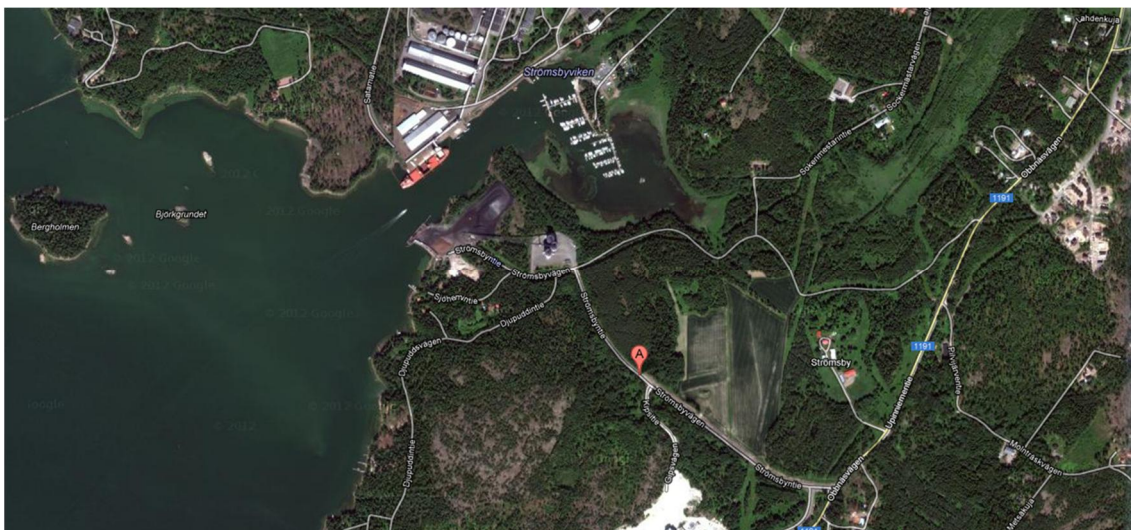
A_u = yläpuolisen uoman virtausala (m^2) mitoitusvirtaamalla Q , padotuksen oletettu suuruus mukaan luettuna,

k = vastuskerroin taulukosta alla

Taulukko 7. Padotuskerroin D ja vastuskerroin k riippuvat aukkosuhteesta A_r/A_u ja k lisäksi virtaamasta Q seuraavasti. [25, s. 55]

Aukko- suhde A_r/A_u	Padotus- kerroin D	Vastuskerroin k	
		$Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$
0,3	0,79	0,67	0,71
0,4	0,72	0,70	0,74
0,5	0,65	0,73	0,77
0,6	0,58	0,77	0,81
0,7	0,51	0,80	0,84
0,8	0,43	0,83	0,87
0,9	0,34	0,86	0,90

8 Prikirannan tulvakartoitus



Kuvio 14. Prikiranta. [32]

8.1 Hankkeen taustaa

Hankkeessa laadittiin tulvakartoitus Prikirannalle, Kirkkonummessa sijaitsevalle rannikko-alueelle, jossa on loma-asumista, arvokasta luontomaisemaa ja teollisuusaluetta. Alueelle suunnitellaan uutta asuinalueita sekä olemassa satama-alueen ja teollisuusalueen käytön laajentamista.

Prikirannan alue sijaitsee Kirkkonummen keskustan lounaispuolella, noin kuuden (6) kilometrin etäisyydellä keskustasta, osittain meren rannalla ja osittain sen välittömässä läheisyydessä. Selvitysalue rajautuu tarjouspyynnössä esitetystä liitteestä 4.

Selvitysalueen länsiosassa sijaitsee Helsingin Sataman hallinnoima satama-alue. Satama-alueen reunalla sijaitsee sementtiasema kuljetinluiskineen. Pohjoisessa selvitysalue rajautuu Strömsbyvikenin pohjukkaan. Strömsbyvikenin pohjoisrannalla sijaitsee nykyinen Meri-Kantvikin pienvenesatama [24].

Tavoitteena oli selvittää meri- ja hulevesitulvan aiheuttamia vahinkoriskejä ja miten niitä voi hallita. Selvityksen perusteella arkkitehti voi määrittää rakentamiskorkeuden asumiselle kaavoitetuille alueille.

Työssä on huomioitu tarvittavilta osin ilmastomuutoksen aiheuttama sademäärän kasvu sekä merenpinnan kasvava tulvakorkeus. On myös huomioitu kasvillisuuden ja rakennettavan ympäristön vaikutukset alueen valumaan.

Hankeryhmä työryhmänä on toiminut hulevesiselvityksen suunnittelijana Petter Kohonen (opiskelija) ja DI Kari Koivisto, DI Päivi Paavilainen ja muita Rambollin edustajia hankkeessa ovat olleet DI Axelsson Lauri, Keskisaari Heimo. Serum Oy:n edustajat ovat olleet Sami Heikkinen, Mirja Puoskari. Kirkkonummen kunnassa yhteyshenkilö on ollut Aija Aunio, muita Kirkkonummen edustajia ovat olleet Tero Luomajärvi, Anna-Kaisa Kauppinen. Helsingin edustajat ovat Peter Haaparinne, Hannu Airola, Jari Huhtaniemi ja Satu Lehtonen.

8.2 Käytetty koordinaatisto- ja korkeusjärjestelmä

Suunnitelmassa on käytetty saadun pohjakartan mukaista N60 korkeusjärjestelmää.

8.3 Suunnittelualueen kuvaus



Kuvio 15. Pohjoisen suuntaan johtava mahdollinen purkureitti, näkymä Sokerimestarintienvarresta kohti pohjoista. Ojassa on pensaikkoa ja kaislikkoa. (Kohonen 20.3.2012)

8.3.1 Suunnittelualueen hydrologia

Hulevesi kulkee pääasiallisesti avo-ojissa, josta vesi purkautuu lopulta Kantvikiin. Meren rantaan rajautuvilla alavilla alueilla avo-ojien pituuskaltevuus on loiva, ja korkeustaso Strömsbyviken itä-puolella on kohtuullisen matala suhteessa meriveden pintaan. Rantaviivan suuntainen matala tiepenger (Sokerimestarintie) padottaa yläpuoliset vedet taakseen. Tien takaa maaston vedet purkautuvat ojien ja tierumpujen kautta mereen.

Suunnittelualue jakaantuu huleveden kannalta kahteen osavaluma-alueeseen. Vedenjakajien sijainnit ja korkeussuhteet sekä pintavesien pääjohtumisreitit on esitetty liitteessä 1, 2, piirustus Y1 ja Y2.

Virtausreiteillä olevat rumpuputket tarkistettiin ja mitattiin maastossa. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Yleisten teiden alitukset on tehty tierummuilla.

	halkaisija	materiaali
Rumpu 1	800	betoni
Rumpu 2	800	betoni
Rumpu 3	350	muovi
Rumpu 4	600	betoni
Rumpu 5	800	pelti
Rumpu 6	800	betoni
Rumpu 7	400	muovi
Rumpu 8	500	betoni
Rumpu 9	600	betoni
Rumpu 10	600	betoni

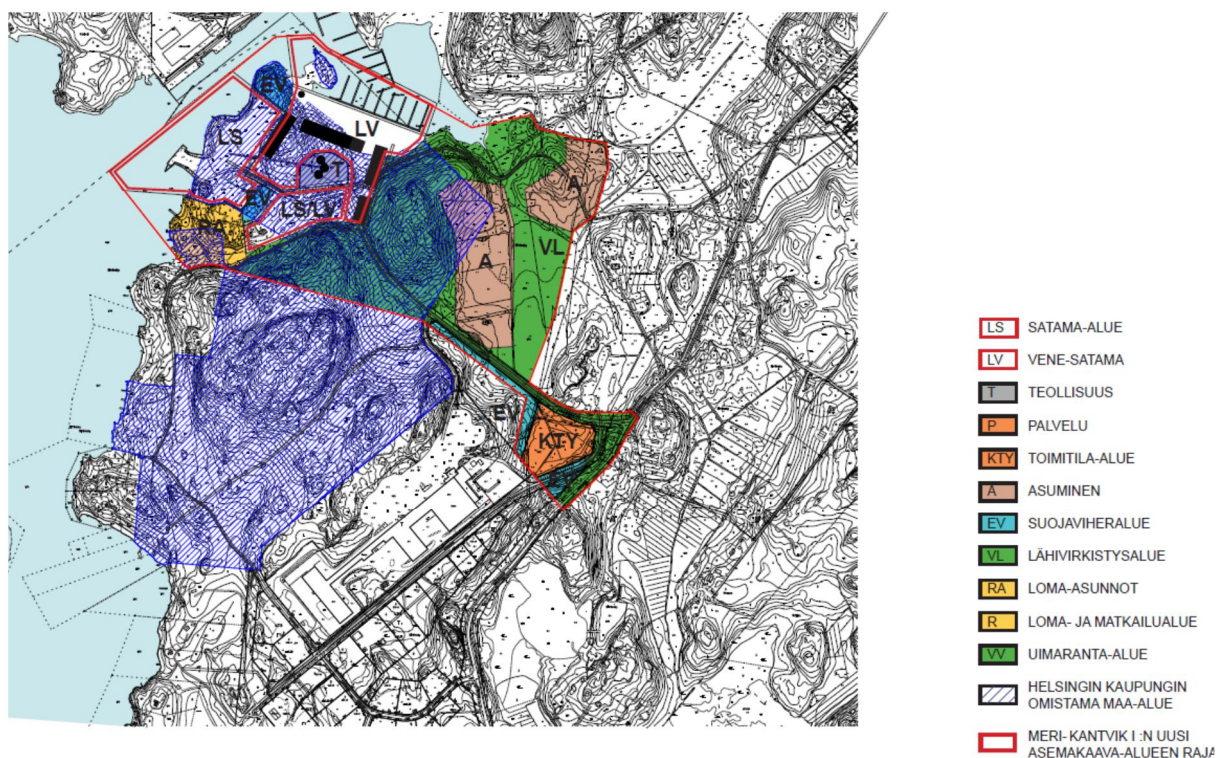
8.3.2 Nykytilan maankäyttö ja luonnonympäristö

Maasto on topografisesti hyvin vaihteleva, tasaista pinta-aluetta ei ole paljoakaan. Alue on suurin osin metsän peitossa, pieni osa on peltomaisemaa. Kallioperän lounais- ja koillissuuntautuneisuus, muodostaa suuren valuma-alueen tulvaselvityksen koskevalle alueelle. Kallio on melko paljastanutta ja rinteet pääosin jyrkkiä, mikä vähentää hulevesien viipymää.

Valuma-alueena ympäristö on suhteellisen harvasti rakennettu alue, mutta hankeryhmän saadun tiedon mukaan molemmat Kantvik:iin purkautuvat ojat ovat tulvaherkkiä. Karkeasti 324 ha:n kokoinen valuma-alue jakaantuu yhteen suurempaan alueeseen: Valuma-alue 1 = 270 ha, ja toiseen pienempään alueeseen: Valuma-alue 2= 54 ha.

8.3.3 Tulevaisuus ja maankäytön muutokset

Alueelle on kaavoitettu asumisaluetta sekä teollisuus- ja satama-alueen laajentumista. Rakennettu pinta-ala tulee kasvattamaan pintavalunnan määrää.



Kuvio 16. Prikirannan maankäytön alustava suunnitelma [31].

8.4 Mitoitusperusteet

8.4.1 Mitoitussade

Taulukko 9. Suunnittelualueella käytetty mitoitussade tulvatilanteille.

Toistuvuus	Kesto [min]	Sademäärä [mm]	Rankkuus [l/s/ha]
Kerran 20 vuodessa	15	19	210
Kerran 20 vuodessa	30	24	134
Kerran 20 vuodessa	60	31	86
Kerran 20 vuodessa	180	45	42
Kerran 20 vuodessa	360	56	26

Käytetty sateen kesto valittiin sen perusteella, kuinka kauan veden virtaus laskennallisesti kestää valuma-alueen kauimmaisesta pisteestä tarkastelupisteeseen. Rankkuus ja kertymä määritettiin Rankkasateen ja taajamatulvat (RATU) -hankkeen tulosten (Suomen ympäristö 31/2008) mukaan ja niissä on huomioitu ilmastonmuutoksesta aiheutuva 20 % lisäys. [1.]

8.4.2 Virtaamalaskenta

Virtaamalaskentaa varten kullekin valuma-alueelle tai tarvittaessa osa-alueelle määritettiin valumakerroin sen maankäytön mukaan (taulukko 10).

Taulukko 10. Käytetyt valumakertoimet maankäytön mukaan. [2]

Maankäyttö	Valumakerroin
Pientaloalue	0.15
Puistoalue/pelto	0.05
Teollisuusalue	0.80

Valumakertoimen ϕ , alueen pinta-alan A ja mitoitussateen rankkuuden i perusteella laskettiin kullakin alueella muodostuva hulevesivirtaama Q seuraavasti:

$$Q = \phi * A * i$$

Padottuva vesimäärä V laskettiin kolmen riskialttiin rummun kohdalla, vähentämällä rummun maksimikapasiteetti Q_r , tulvareitin virtaamasta Q_{tot} , ja kertomalla se sateen kestolla s .

$$V = (Q_{tot} - Q_r) * s$$

8.5 Nykytilan ja tulevat tulvariskit

8.5.1 Hulevesien muodostuminen osa-alueittain

Taulukko 11. Taulukossa esitetään, mitä valumakertoimia on käytetty ja miten rakentaminen vaikuttaa padottavaan vesimäärään. Muodostuvat lammikot on esitetty liitteessä Y1 ja Y2.

		Valuma-alue 2 = rumpu 1		Valuma-alue 2 = rumpu 9		Valuma-alue 2 = rumpu 2	
		jälkeen	ennen	jälkeen	ennen	jälkeen	ennen
Mitoitussateen rankkuus (l/s ha)	q	86	86	86	86	42	42
Valumiskerroin 1	ϕ	0,15	0,15			0,15	0,15
Osavaluma-alueen 1 pinta-ala (ha)	A	12	8			52	33
Valumiskerroin 2	ϕ	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Osavaluma-alueen 2 pinta-ala (ha)	A	32	46	12	16	218	237
Valumiskerroin 3	ϕ	0,80		0,80	0,80		
Osavaluma-alueen 3 pinta-ala (ha)	A	10		12	8		
Pinta-ala yhteensä	A _{tot}	54	54	24	24	270	270
Tulvareitin virtaama (l/s)	Q	980	301	877	619	785	706
Sateen kesto (s)	s	3 600	3600	3 600	3600	10800	10800
Rummun maks. kapasiteetti (m3/s)	Q	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
Padottuva vesimäärä (m3)	V	2089	-356	2077	1149	4162	3300

Suunnittelualueelta ja sen ympäristöstä mitoitussateella (ks. luku 8.4.1) muodostuvat huleveden virtaamat ja kertymät on esitetty pienvaluma-alueittain taulukossa 11 ja 12.

Taulukko 12. Pienvalluma-alueiden pinta-ala, keskimääräinen valumakerroin, alueelta syntyvä hulevesivirtaama ja -kertymä. Yhteenveto taulukosta 11.

Alue	Pinta-ala [ha]	Keskimääräinen valumakerroin [%]	Virtaama [m ³ /s]	Padottuva vesimäärä [m ³]
Valuma-alue 1 rumpu 2	270	6,9%	800 l/s 3 h pituisella mitoitussateella	4200
Valuma-alue 2 rumpu 9	24	42%	900 l/s 1 h pituisella mitoitussateella	2100
Valuma-alue 2 rumpu 1	54	21%	1000 l/s 1 h pituisella mitoitussateella	2100

Määräävä mitoitussateen kesto on valittu valuma-alueen laajuuden ja virtausreitin pituuden mukaisesti. Kesto vastaa virtauksen kulkua valuma-alueen äärilaidoilta purkupisteeseen. Koska pitkillä sateilla vesiä kertyy pienemmästä virtaamasta huolimatta suurempia määriä, padottuvat vesimäärät on arvioitu purkurummun kapasiteetin ja rummulle tulevan vesimäärän erotuksena erimittaisille mitoitussateille. Esitetty vesimäärä on suurin näin saatu laskennallinen vesitilavuus.

8.5.2 Hulevesitulvan riskit

Hulevesitulvan riski keskittyy tienalitusrumpujen yläjuoksun puolelle, johon voi muodostua lammikoita ääritilanteissa ilman hulevesien hallintatoimenpiteitä. Liitekartalla 2 (piirustus Y2) on esitetty laskennallinen tulva-alueen maksimi pinta-ala. Sokerimestarintietä ja Strömsbyntietä yhdistävän yksityistien taso jää yläpuoliseen tulva-alueeseen nähden niin matalalle, että tien katkeaminen rankkasateilla on todennäköistä.

Rumpujen yläpuolen lisäksi myös nykyisten ojauomien ympäristöön voi nousta vesiä uomien tukkoisuuden ja heikon pituuskaltevuuden vuoksi ilman toimenpiteitä. Tällaiset potentiaaliset ongelmakohteet on samoin esitetty liitekartalla 2 (piir. nro Y2), mahdollisina hulevesitulvan riski-alueina.

8.5.3 Merivesitulvan mitoituserusteet

Merivesitulvalle on käytetty lähtökohtana Helsingin tulvasuojelulle mitoitettua HW +2,6 m (sisältää +0,3 m aaltoiluvaaraa) jonka toistuvuus on kerran 200 vuodessa. Lisäksi tutkittiin tilanne suurimmalla aiemmin havaitulla meriveden korkeustasolla +1,45 (vuoden 2005 tulva). Tulvan leviäminen on esitetty piirustuksessa Y1 (liite 1).

8.5.4 Merivesitulvan riskit

Korkean tulvan sattuessa merivesi virtaa rannan suuntaisten tiepenkereiden rumpujen läpi sisämaahan. Ääritilanteissa tulva nousee Kantvikin pohjukan yksityistien tasoa (alimmillaan noin +0,9) ylemmäs, jolloin vedet virtaavat tiepenkeren yli. Tulvan leviäminen on esitetty piirustuksessa Y1 (liite 1). Tutkimuksessa tulvan on oletettu kestävän niin kauan, että tulvavedet ehtivät täyttää koko Hemvikenin pohjukan.

Pahimmillaan merivesitulva peittää koko Hemvikenin alavan peltoalueen. Hemvikintie 4:n omakotitalon piha on talon kohdalla vain noin korossa +1,0 merenpinnan yläpuolella. Kun verrataan vuoden 2005 tulvatasoon +1,45 m, tulvariski on huomattava, ja vesi voi pahimmillaan nousta taloon. Upinniementien matalin kohta Hemvikenin pohjukassa on hieman yli +2,0 eli tutkitussa ääritilanteessa kerran 200 vuodessa toistuvalla tulvalla myös Upinniementie ja tärkein tieyhteys mm. Upinniemen varuskunnalle katkeaisi. Myös Sokerimestarintien matalin kohta jää kerran 200 vuodessa toistuvan tulvatason alapuolelle.

Merivesitulvan alle jääviin teihin tulee kiinnittää erityistä huomiota myös tierakenteelle koituvien vaurioiden vuoksi. Tiepenkereen yli sisämaan puolelle virtaava vesi ja tiepenkerettä päin käyvä aallokko voi syödä tien luiskia ja aiheuttaa sortumia, ja tierungon kyllästymisen vedellä voi heikentää tien kantavuutta. Rumpujen suilla voi esiintyä eroosiota, kun merivesitulvan aiheuttama vedenpaine aiheuttaa rumpuihin voimakasta virtausta sisämaahan päin.

9 Yhteenveto ja johtopäätökset

Ihmisiä muuttaa yhä enemmän kaupunkeihin, ja alavat maat ja rannikot täyttyvät rakennuksilla. Tämä luo haasteen suunnittelijoille ja muille alalla toimiville löytää hyviä tulvanhallintaratkaisuja yhä hankalammissa paikoissa.

Tulvakartoitus antaa tärkeän pohjan alueiden kaavoittamiseen. Tulvakartoitus antaa myös havainnollistavan kuvan siitä, mitkä alueet ovat riskialttiimpia tulville kuin muut alueet.

Tulvariskikartoituksessa tavoitteena oli selvittää hulevesi ja merivesitulvan aiheuttamat tulvariskialueet Kirkkonummen, Prikirannalle.

Tutkittaessa meri- ja hulevesitulvan vaikutuksia Prikirantaan, Kirkkonummen Kantvik:ssä huomattiin, että merkittävän tulvariskin aiheuttaja on merivesitulva. Hulevesitulvan ja merivesitulvan leviäminen on esitetty liitteinä olevissa piirustuksissa Y1 ja Y2 (liite 1 ja 2).

Tarkasteltaessa äärimmäistä merivesitulvakorkeutta +2,6, niin voidaan todeta, että alueen tulvariski on oleellinen. Pahimmillaan merivesitulva peittää koko Hemvikenin alavan peltoalueen. Hemvikintie 4:n omakotitalon pihan korkeustaso on tulvarajan alapuolella, ja vesi voi pahimmillaan nousta taloon. Upinniementien matalin kohta Hemvikenin pohjukassa, voi tutkimuksessa ääritilanteessa kerran 200 vuodessa toistuvalla tulvalla jäädä tulvan alle, jolloin Upinniementie varuskunnalle hyvin tärkeä tieyhteys katkeaisi. Myös Sokerimestarintien matalin kohta jää kerran 200 vuodessa toistuvan tulvatason alapuolelle. Suurten vesimassojen virtaukset ja tiepenkerettä päin käyvä aallokko voi aiheuttaa eroosiota ja sortumia.

Prikirannan tulvakartoituksen pohjalta tehdään Hulevesien hallintasuunnitelma Prikirannan alueelle, jossa opinnäytetyön laatija jatkaa hankkeen hulevesisuunnittelijana.

Tilaajan puolelta vaatimukset tehdä selvityksen hulevesi- ja merivesitulvan vaikutuksista Prikirannalle on toteutettu. Tulvariskikartat on myös esitetty asiakkaalle suunnittelu kokouksessa 27.3.2012 klo 14 Helsingissä.

Tulvakartoituksen ja huleveden hallinta on ilmastomuutoksen ja kaupungistumisen takia hyvin ajankohtainen. Tulvakartoituksessa on kyse varautumisesta tulvatilanteisiin ennakolta, jotta tulvavahinkojen määrä voitaisiin minimoida.

Uusi "Laki tulvariskien hallinnasta" (24.6.2010/620) säättää tulvariskien selvittämisestä ja on hyvä esimerkki siitä, että tulvariskikartoitus ja hallinta on väistämätön osa tulevaisuuden rakentamista ja suunnittelua Suomessa ja ympäri maailmaa.

Lähteet

Lähteet

[1] Aaltonen Juha, Harri hohti, Kirsti Jylhä, Tuomo karvonen, Tiina Kilpeläinen, Jarmo koistinen, Janne Kotro, Timo Kuitunen, Markku Ollila, Anna Parvio, Seppo Pulkkinen, Jari Silander, Topi Tiihonen, Heikki Tuomenvirta ja Andrea Vadja. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU) 2008. Suomen ympäristökeskus.

[2] Kajosaari, Eero. 1981. Vesihuolto : RIL 124

[3] Vesiyhdistys r.y. Helsinki 1986. Sovellettu Hydrologia

[4] Helsingin kaupungin liikuntavirasto. 2005. Strömsbyn yleissuunnitelman ja asema-kaavan luonto- ja maisemaselvitys, 22.8.2005. Suunnittelukeskus Oy.

[5] Suomen ympäristökeskus. 2007. Silta- ja rumpalausunnot.

[6] <http://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>, luettu 12.12.2011.

[7] Ahponen Hannele. 2005. Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien ja aluesuunnittelun keinoin kohti parempaa taajamahydrologiaa. Ympäristöministeriö, Verkko-osoite: (ymparisto.fi/download.asp?contentid=39235)

[8] WMO/Unesco Panel on Terminology. 1974. International Glossary of Hydrology. Secretariat of the World Meteorological Organization.

[9] <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=623&lan=fi#a0>, luettu 17.03.2012.

[10] Ollila Markku, Virta Hanna ja Hyvärinen Veli. Suurtulvaselvitys. Suomen ympäristökeskus. Verkko-osoite: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=137415&lan=fi&clan=fi>

[11] Alho Petteri, Sane Mikko, Huokuna Mikkon, Käyhkö Jukka, Lotsari Eliisa ja Lehtiö Laura. 2008. Tulvariskien Kartoittaminen. Suomen ympäristökeskus ja Turun yliopisto. Verkko-osoite: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=240792>

[12] <http://ammattilehti.fi/uutiset.html?a200=3127>, luettu 17.02.2012.

[13] <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=630&lan=fi>, luettu 18.03.2012.

[14] <http://english.sina.com/world/p/2010/0524/321264.html>, luettu 10.04.2012.

[15] Majjala Timo. 24.11.2010. Patoturvallisuusopas (Luonnos). Hämeen elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskuksen julkaisuja.

[16] Suhonen Ville ja Rantakokko Kari, 2006, Tilapäiset tulvasuojelurakenteet, Uudenmaan ympäristökeskus, Verkko-osoite:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54956>, luettu 17.02.2012.

[17] DI Vikman Hannu, 2010, hulevesiopas, Kuntaliitto. Verkko-osoite:
http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/tyt/teknitoimi/hulevesien_hallinta/DOcuments/Hulevesiopas%2016711.pdf, luettu 13.04.2012.

[18] VTT 2004. 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT Rakennus- ja yhdyskun- tatekniikka. Espoo. Verkko-osoite:
<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedot-teet/2004/T2227.pdf>, luettu 13.04.2012.

[19] Suomen kuntatekniikan yhdistys (SKTY). 2003. Katu 2002. Suomen Kuntatekniikan Yhdistyksen julkaisuja.

[20] European commission (EC). 1996. Neuvoston direktiivi 96/61/EY, annettu 24 päivänä syyskuuta 1996, ympäristön pilaantumisen ehkäisemisen ja vähentämisen yhtenäistämiseksi. Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control, luettu 08.04.2012.

[21] European commission (EC). 2000. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY lokakuuta 2000, yhteisen vesipolitiikan puitteista. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:FI:NOT>, luettu 08.04.2012.

[22] European commission (EC). 23.11.2007c. (Paivitetty). Implementing of the Floods Directive. Wise, Water Information System for Europe.
http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/implem.htm , luettu 08.04.2012.

[23] European commission (EC). 2007d. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2007/60/EY, annettu 23 päivänä lokakuuta 2007, tulvariskien arvioinnista ja hallinnasta. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32007L0060:EN:NOT>, luettu 08.04.2012.

[24] Sikiö Janne, Jorma Havukainen. 2012. Alueellinen maaperä- ja rakennettavuusselvitys. Ramboll Finland Oy.

[25] Tiehallinto. 20.4.1993. Teiden suunnittelu IV Tien rakenne, kap. 4 Kuivatus s. 49-69.

[26]

[http://www.google.com/imgres?q=flood&um=1&hl=en&biw=1328&bih=900&tbnid=OELkHpZPwoaJIM:&imgrefurl=http://www.boston.com/bigpicture/2008/06/mississippi_floodwaters_in_iow.html&docid=mVD_CPLsNTSggM&imgurl=http://cache.boston.com/universal/site_graphics/blogs/bigpicture/iowa_06_17/iowa7.jpg&w=990&h=598&ei=1Q1nT5TWMaHc4QTS0qD4Bw&zoom=1&iact=rc&dur=0&sig=113138363591006094648&page=1&tbnh=124&tbnw=205&start=0&ndsp=20&ved=1t:429,r:10,s:0&tx=128&ty=79], luettu 10.02.2012.

[27] <http://www.vaasalaisia.info/index.php?/search/eeuku/P1.html>, luettu 08.04.2012.

[28] <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=639&lan=fi>, luettu 08.04.2012.

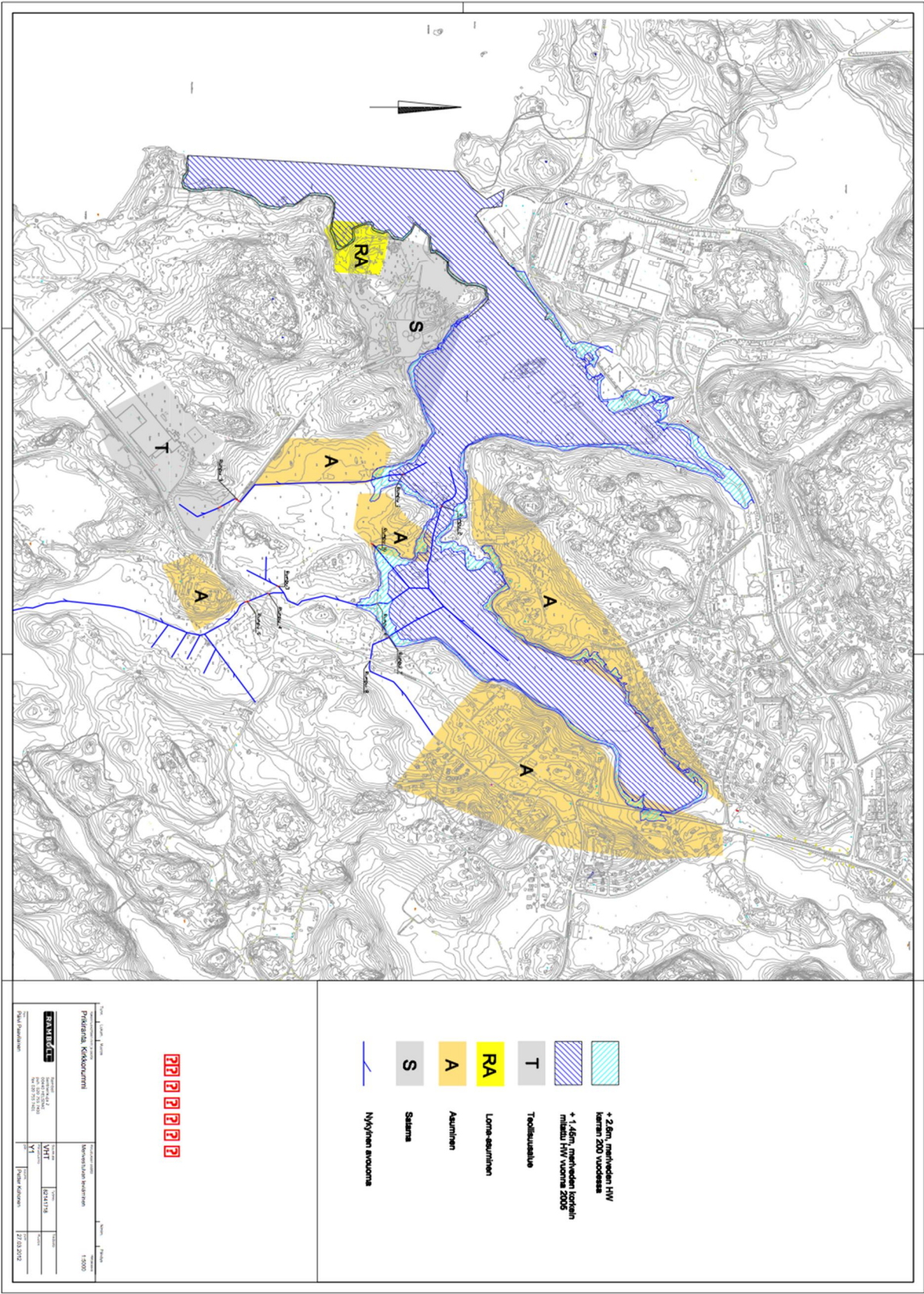
[29] <http://www.tesomaneramiehet.fi/kosteikko.php>, luettu 08.04.2012.

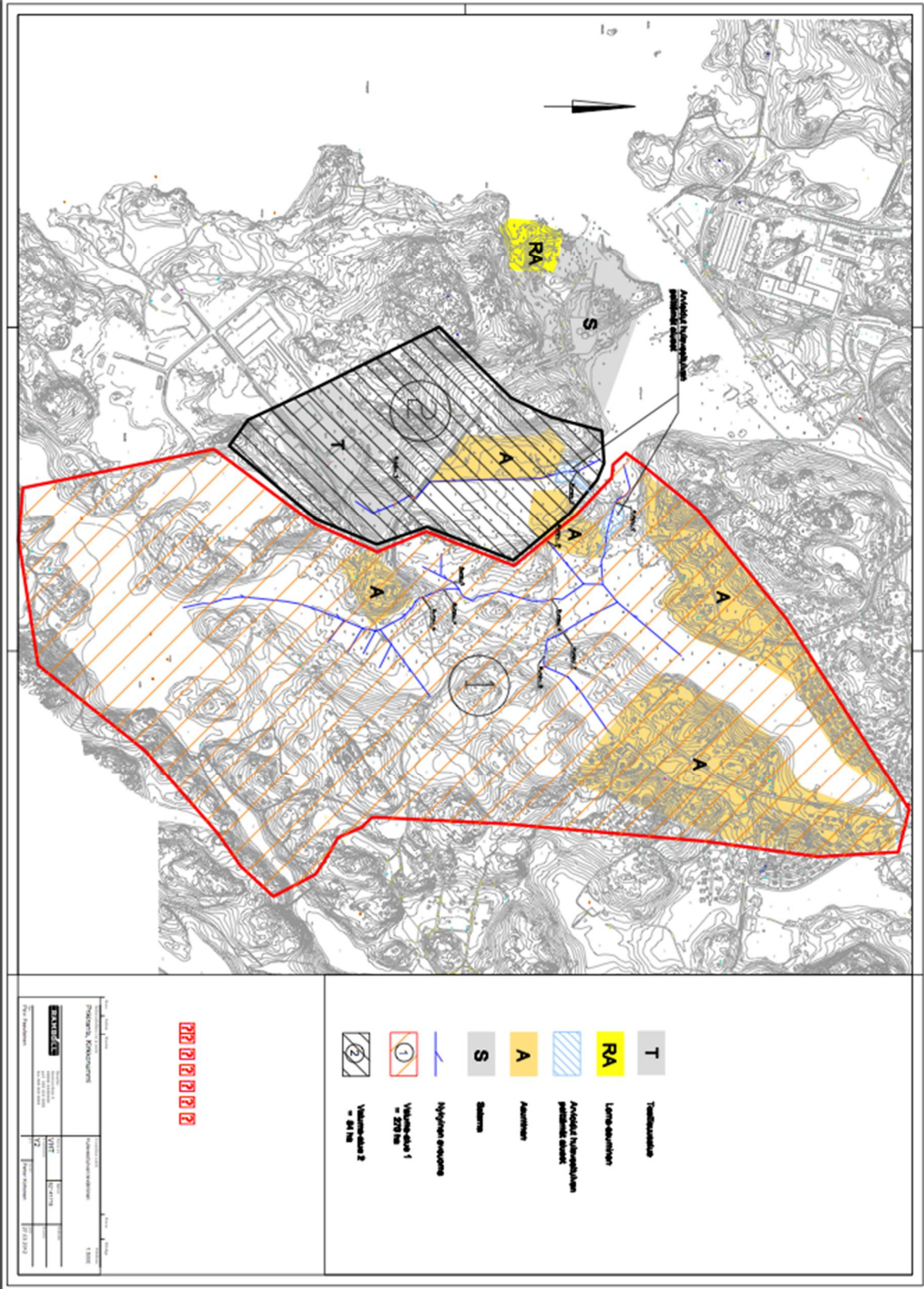
[30]

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20100620?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=tulvariski>, luettu 13.04.2012.

[31] Serum arkkitehdit. 2011. Pikirannan maankäytön alustava suunnitelma.

[32] maps.google.com, Strömsbyntie, Kirkkonummi, Suomi, luettu 08.04.2012.





Viemäröitävien alueiden alueellisia valumiskertoimia

[illegible]

